Die Beziehungen zwischen Flamm-, Brenn- und Zündpunkt bei Zylinderölen unter Druck bis 30 Atmosphären Überdruck.

Von der Technischen Hochschule zu Breslau zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Hermann Hassenbach

Referent: Professor Dr. Ing. Baer
Korreferent: Professor Lotter

Tag der mündlichen Prüfung:
25. Februar 1930.

Druck von Wilh. Gottl. Korn in Breslau 1

Die Beziehungen zwischen Flamm-, Brenn- und Zündpunkt bei Zylinderölen unter Druck bis 30 Atmosphären Überdruck.

Von der Technischen Hochschule zu Breslau zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Hermann Hassenbach

Referent: Professor Dr. Ing. Baer
Korreferent: Professor Lotter

Tag der mündlichen Prüfung:
25. Februar 1930.

Druck von Wilh. Gottl. Korn in Breslau 1

Meiner lieben Frau gewidmet

Zur Beurteilung der Schmieröle betreffs Begrenzung ihrer Anwendbarkeit hinsichtlich ihrer Verdampfbarkeit und Entflammbarkeit werden die Begriffe Flammpunkt, Brennpunkt und Zündpunkt nebeneinander benutzt, ohne daß bisher eine Klarstellung über deren Zusammenhang erfolgt ist. Während man im allgemeinen den Flammpunkt im offenen Tiegel bestimmt, wird andererseits die Flammpunktbestimmung im geschlossenen Tiegel bei atmosphärischem Druck nach Pensky-Martens ausgeführt. Da der Flammpunkt, insbesondere bei der Bestimmung im geschlossenen Tiegel, durch an sich geringe Mengen niedrig flammender Bestandteile ungünstig beeinflußt wird, wird von anderer Seite dem Brennpunkt, als einem Punkt, der mit größerer Sicherheit bestimmt werden kann, der Vorzug gegeben. Andererseits zieht man zur Beurteilung der Entzündlichkeit von Ölen, insbesondere im Zylinder des Dieselmotors und des Luftkompressors, den Selbstzündungspunkt, oder auch allgemein kurz Zündpunkt genannt, heran.

Jeder dieser Begriffe findet seine Verteter zu gegebener Zeit und es haben schon große Erörterungen darüber stattgefunden, welche Bestimmung nun die eigentlich richtige ist. Der Verfasser ist in seiner beruflichen Tätigkeit häufig auf die Widersprüche der verschiedenen Auffassungen gestoßen und hatte es sich bei der vorliegenden Arbeit zum Ziel gesetzt, die Beziehungen zwischen den einzelnen Begriffen Flamm-, Brenn- und Zündpunkt klarzulegen. Beobachtungen über schwere Maschinenschäden, die durch Verwendung eines für den Betrieb nicht passenden Zylinderöles verursacht wurden, haben den Verfasser veranlaßt, besonders der Untersuchung von Zylinderölen seine Aufmerksamkeit zu schenken und die Untersuchungen nicht nur auf Flamm- und Brennpunkt zu beschränken, sondern auch auf den Zündpunkt auszudehnen.

Was versteht man nun unter den Begriffen Flamm-, Brenn- und Zündpunkt? Für den Flammpunkt kann man die in den „Richtlinien" für den Einkauf und die Prüfung von Schmiermitteln, aufgestellt und herausgegeben von dem Verein deutscher Eisenhüttenleute, Gemeinschaftsstelle Schmiermittel und dem Deutschen Verband für die Materialprüfung der Technik (Ausschuß IX), gegebene Erläuterung als maßgebend annehmen:

„Der Flammpunkt ist die Temperatur, bei der aus dem Öl sich Dämpfe in solcher Menge entwickeln, daß die unmittelbar darüberliegende Luft bis zur unteren Verpuffungsgrenze gesättigt ist und das Gemisch aus Öldämpfen und Luft durch Annäherung einer Zündflamme zur Entflammung gebracht werden kann."

Über Brenn- und Zündpunkt enthalten die Richtlinien keine Angaben.

Der Brennpunkt ist nach Holde die Temperatur, bei welcher die Oberfläche des Öles auf vorübergehende Annäherung einer Flamme andauernd brennt.

Der Zündpunkt ist bisher vorwiegend der Beurteilung der Treiböle für den Dieselmotor zu Grunde gelegt worden und ist allgemein als diejenige tiefste Temperatur definiert worden, bei welcher sich der Brennstoff von selbst entzündet, entweder in reinem Sauerstoff oder in atmosphärischer Luft.

Der Flammpunkt ist von verschiedenen Seiten einer eingehenden Untersuchung gewürdigt worden, insbesondere da er für die Beurteilung der Feuergefährlichkeit eines Stoffes herangezogen werden kann. Es werden zur Bestimmung desselben der Abelsche Prober, der offene Tiegel nach Marcusson, der verbesserte Cleveland-Flammpunktsprüfer und der Pensky-Martens-Apparat verwendet. Neuerdings ist nach den „Richtlinien" der offene Tiegel nach Schlüter probeweise eingeführt.

Der Abelsche Petroleum-Prober ist mit der durch Pensky vorgeschlagenen Abänderung seit 1912 international zur Beurteilung der Feuergefährlichkeit eines Petroleums anerkannt und in Deutschland zur Durchführung dieser Versuche gesetzlich vorgeschrieben. Mit diesem Prober lassen sich auch Brennpunktsbestimmungen leicht ausführen.

Der offene Tiegel nach Marcusson ist nach den „Richtlinien" zugelassen und kann diese Untersuchungsmethode als die handelsübliche bezeichnet werden. Auch der Brennpunkt läßt sich hiermit bestimmen.

Der Flammpunktsprüfer nach Schlüter basiert auf der offenen Tiegelmethode nach Marcusson.

Der Cleveland-Flammpunktsprüfer ist in Amerika für alle Öle mit einem Flammpunkt im offenen Tiegel über 79^0 mit Ausnahme der Heizöle offiziell zur Flamm- und Brennpunktsbestimmung anerkannt und ist ebenfalls eine offene Tiegel-Methode nach dem Prinzip Marcusson.

Der Pensky-Martens-Apparat zeigt infolge des geschlossenen Tiegels gegenüber dem Marcusson-Apparat häufig erheblich niedrigere Werte und ist daher besonders bei den handelstreibenden Ölfirmen nicht sehr beliebt. Der Verfasser hat bei Vergleichsuntersuchungen

im offenen Tiegel und nach Pensky-Martens im letzteren Falle Werte bekommen, die bis zu 148° C niedriger lagen. Die Brennpunktsbestimmung ist im Pensky-Martens-Apparat nicht zuverlässig durchführbar, da die Öloberfläche bei geschlossenem Tiegel infolge Sauerstoffmangels nur schwer brennt und zur Feststellung des Brennpunktes der Deckel abgenommen werden muß. Auf diese Weise wird der Brennpunkt unter anderen Bedingungen bestimmt als der Flammpunkt.

Der Bestimmung des Zündpunktes ist bisher schon viel Aufmerksamkeit gewidmet worden und liegen dafür Arbeiten von Kutzbach-Holm, Constam und Schläpfer, H. Moore, Sinnat, Borrows, Moore, Wollers und Ehmcke, Dixon, v. Wartenberg, Tauß und Schulte, Alt, Hawkes, Neumann, Jentzsch und Pahl vor, die mit Apparaten der verschiedensten Konstruktion vorgenommen wurden. Eine gute Zusammenstellung dieser Versuche bringt ein Aufsatz von Hoffmann, Bestimmung des Zündpunktes flüssiger Brennstoffe, im Archiv für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen, 1928, S. 213, aus welchem auch nähere Literaturangaben über die vorgenannten Arbeiten zu ersehen sind. Die meisten dieser Arbeiten beschäftigen sich mit der Zündpunktbestimmung im offenen Tiegel bei Anwesenheit von Luft oder reinem Sauerstoff, wobei der Bestimmung mit Sauerstoff häufig der Vorzug gegeben wird.

Um die Grenzen der Gebrauchsfähigkeit von Zylinderölen für die Praxis zu beurteilen, ist es unbedingt notwendig, den Flamm-, Brenn- und Selbstzündungspunkt unter den Drücken zu bestimmen, wie sie in Wirklichkeit in den Dampfmaschinen vorhanden sind.

Es wurde daher eine neue Apparatur geschaffen, welche diese Untersuchungen im gewünschten Sinne ermöglichte, und zwar unter Druck bis 30 Atm. Überdruck.

Beschreibung der Versuchseinrichtung.

Um einen Vergleich der Untersuchungen des Flamm-, Brenn- und Zündpunktes unter Druck mit der verbreiteten Untersuchungsmethode des Flamm- und Brennpunktes im offenen Tiegel nach Marcusson zu gestatten, wurde die neue Apparatur gewissermaßen als offene Tiegelmethode ausgebildet, d. h. es wurde ein offener Flammpunktsprüfer mit elektrischer Heiz-, Zünd- und Anzeigevorrichtung in eine größere Bombe von 3,5 l Inhalt eingeschlossen, so daß die gesamte Umgebung des Tiegels unter Druck gesetzt werden konnte. Da im offenen Tiegel die Zündung bei Anwesenheit von Luft erfolgt, wurde auch bei höheren Drücken komprimierte Luft verwendet.

Der Apparat ist auf beiliegender Tafel 1 im Schnitt gezeichnet, das Schema der einzelnen Stromkreisläufe des Apparates ist auf Tafel 2

dargestellt, während Tafel 3 fotografische Gesamtansichten und Tafel 4 fotografische Aufnahmen der Inneneinrichtung zeigt.

Die aus bestem weichem Stahl hergestellte Bombe a wird durch den Deckel b aus Phosphor-Bronze mittels 12 einzölliger Stahlschrauben verschlossen. Die Bombe ist in einem Stück aus dem vollen Material gedreht worden und für eine dauernde auf- und abschwellende Belastung bis zu 200 Atm. Überdruck berechnet und nach Fertigstellung auf 230 Atm. Überdruck abgedrückt worden, wobei sie 2 Stunden lang, ohne einen merklichen Abfall, diesen Druck hielt. Der Deckel b liegt auf einer absichtlich klein gehaltenen Fläche der Bombe auf, so daß an dieser Stelle eine hohe spezifische Flächenpressung entsteht und so ein gutes Dichthalten des Deckels, auch bei höheren Drücken, ohne eine dazwischengelegte weiche Dichtung erreicht wird. Die Dichtungsfläche zwischen Bombe und Deckel ist sorgfältig eingeschliffen worden. Eine gute Zentrierung des Deckels, der Bombe gegenüber, ermöglicht ein kurzer zylindrischer Ansatz, der zur Sicherung des Aufeinanderliegens der eingeschliffenen Dichtungsflächen nötig ist.

Am oberen Rande ist die Bombe außen mit einem Ansatz versehen, welcher als Widerlager für den Flansch c aus Phosphor-Bronze dient, der warm gegen den Ansatz aufgezogen worden ist. Die Stahlschrauben werden von unten durch den Flansch nach dem Deckel durchgesteckt und werden die Muttern von oben mittels eines Steckschlüssels, der auf den Fotografien der Tafel 3 vorn unten liegt, angezogen. Nur durch die Verwendung eines dünnwandigen Steckschlüssels war es möglich, die Schrauben so eng nebeneinander zu setzen, daß zwischen den Muttern derselben nur 3 mm Spiel ist. Auf diese Weise läßt sich schon durch ein leichtes Anziehen der Muttern, selbst bei höheren Drücken, ein gutes Dichthalten des Deckels herbeiführen. Der runde Kopf der Stahlschrauben ist entsprechend dem äußeren Durchmesser der Bombe eingefräst worden, um so ein Drehen der Schrauben beim Anziehen der Muttern zu verhindern. Bombe und Deckel sind gut vernickelt.

Zur Beschleunigung des Arbeitens mit der Bombe für eine größere Anzahl auszuführender Versuche ist in halber Höhe derselben ein Tragring d aufgeklemmt, der verhindert, daß beim Öffnen des Deckels die gelösten Schrauben nach unten herausfallen. Die Schrauben ragen vielmehr, wenn sie auf dem Tragring aufstehen, noch mit einem Teil des Gewindes in den Flansch c hinein und können so beim Zuschrauben der Bombe einfach hochgezogen werden, ohne daß erst lange die Nummer der Schraube und die des dazu passenden Loches herausgesucht werden muß. Beim Lösen der Deckelschrauben werden die Muttern unterhalb der zugehörigen Schrauben auf den Befestigungsring e gelegt, so daß man beim Schließen der Bombe auch gleich zu jeder Schraube

die passende Mutter zur Hand hat. Die obere Abbildung der Tafel 3 gibt hierzu ein anschauliches Bild.

Der schmiedeeiserne Ring e ist auf dem Unterteil der Bombe aufgeschrumpft worden und dient der Befestigung derselben mit der Tischplatte des Unterbaues.

Um den verhältnismäßig schweren Deckel leicht handhaben zu können, sind zwei Handgriffe seitlich angebracht worden.

Die gesamte innere Einrichtung der Bombe ist an dem Deckel befestigt, so daß sie mit diesem herausgenommen, nachgesehen und ausgewechselt werden kann.

Das zu untersuchende Öl befindet sich in dem Metalltiegel f, der durch den Heiztiegel g erwärmt wird. Der Metalltiegel ist aus Messing oder Kupfer ausgeführt worden und besitzt eine innere Bohrung von 20 mm lichtem Durchmesser und 25 mm Höhe, die 15 mm unterhalb des Tiegelrandes mit einem kleinen scharfen Ansatz in eine konische Erweiterung ausläuft. Der Ansatz dient als Marke dafür, wie hoch der Tiegel für den Versuch vollgefüllt werden soll und die konische Erweiterung soll das Steigen des Ölspiegels beim Erwärmen des Öles auf ein Minimum beschränken. Der Heiztiegel besteht aus einem Schamottekörper, in welchem eine Platin-Heizspirale eingebettet ist. Der zum Heizen notwendige Strom wird durch die beiden Zuführungen h und i eingeleitet.

Die Einrichtung ist so getroffen worden, daß der untere Teil der Inneneinrichtung zwecks leichter Auswechslung des Metalltiegels bei der Vornahme einer neuen Untersuchung nach unten herausgezogen werden kann. Den Hauptträger bildet hierbei die Stromzuführung h, die im unteren Teile vierkantig ausgebildet worden ist und so beim Aufschieben des Unterteiles dieses gleichzeitig in seiner Richtung festhält. Die Inneneinrichtung mit und ohne Unterteil ist deutlich aus den fotografischen Abbildungen der Tafel 4 zu ersehen.

Der Heiztiegel ist durch einen Platindraht mit der vierkantigen Seite des Untergestells verbunden. Durch Aufschieben des Unterteils auf den Vierkant der Stromzuführung h und Anziehung der Schraube j wird gleichzeitig das Unterteil festgehalten wie auch die Verbindung mit der Stromzuführung h hergestellt.

Mit der Stromzuführung i ist der Heiztiegel g über eine gegen das übrige Untergestell isolierte Feder k durch das andere Ende der Platinheizspule verbunden. Beim Aufschieben des Untergestells wird gleichzeitig die Feder k unter die Schraube l geschoben, worauf diese nach Anziehen der Schraube j festgedreht wird und so auch die Verbindung des Heiztiegels mit der Stromzuführung i gewährleistet ist.

Zum Erwärmen des Heiztiegels g wurde der Lichtstrom von 220 Volt Spannung verwendet. Der Heiztiegel ist aber, um einen stär-

keren Platindraht von längerer Lebensdauer wählen zu können, für 110 Volt ausgeführt und muß daher bei 220 Volt Spannung mit einem vorgeschalteten Widerstand betrieben werden. Es ist außer dem festen Widerstand m, der sicherheitshalber vorgeschaltet sein muß, noch ein Regulierwiderstand o vorgesehen, der zur Herbeiführung eines gleichmäßigen Ansteigens der Temperatur notwendig ist. Einzelheiten hierzu sind aus den Fotografien der Tafel 3 zu ersehen. Der dauernd vorgeschaltete feste Widerstand m ist hinter dem rechts sichtbaren Schaltbrett n angeordnet und so eingerichtet, daß einzelne Windungen desselben je nach dem vorzunehmenden Versuch durch einen Stecker ausgeschaltet werden können. Der Regulierwiderstand o befindet sich vorn am Tisch, dicht unterhalb der Tischplatte.

Bei der Anordnung der ganzen Apparatur ist darauf Rücksicht genommen worden, daß diese von vorn aus leicht von einem Beobachter bedient und abgelesen werden kann. Die Schaltung des Heizungsstromkreises ist aus dem Schema der Tafel 2 zu ersehen.

Der Heizungsstrom wird durch einen Steckkontakt der Lichtleitung entnommen und kann durch den rechts vorn auf dem Arbeitstisch in Tafel 3 sichtbaren zweipoligen Schalter p ein- und ausgeschaltet werden. Es ist mit Absicht hierfür ein zweipoliger Schalter gewählt worden, da man beim Arbeiten an den stromführenden Teilen der Bombe, falls nur ein einpoliger Schalter verwendet worden wäre, bei Erdung eines Poles leicht elektrische Schläge bekommt.

Die Temperatur des im Tiegel f, Tafel 1, befindlichen Öles wird mittels eines Thermo-Elementes q und eines Anzeigeinstrumentes r, welches auf der Tafel 3 auf dem Schaltbrett n oben sichtbar ist, angezeigt. Das Thermo-Element besteht aus einem kleinen Anschlußkopf und einem Chromnickelröhrchen von 4 mm äußerem und 2 mm innerem Durchmesser, in dessen Boden ein durch eine Kapillare isolierter Nickeldraht von 0,6 mm Durchmesser eingeschweißt ist. Das Chromnickelrohr und die Schweißstelle halten einen Druck von 200 Atm. aus. Das Thermo-Element ist für eine Eintauchtiefe von 15 mm geeicht worden. Das Schaltungsschema ist aus Tafel 2 ersichtlich.

Zur Herbeiführung einer einwandfreien und sicheren Zündung der Öldämpfe unter Druck waren viele langwierige Versuche nötig, wozu auch verschiedene Vorversuchsmodelle gebaut werden mußten.

Von einer Zündung durch hochgespannte Funken wurde Abstand genommen, weil die Funkenlänge und damit die Sicherheit des Überschlagens sehr durch den veränderlichen Druck in der Bombe wie auch durch Niederschlagen der Öldämpfe an den Elektroden beeinflußt wird und man so, bei geschlossener Bombe, nicht sicher weiß, ob eine Zündung eingeleitet wurde oder nicht.

Besser gelang der Zündversuch bei der Bestimmung der Flamm- und Brennpunkte von Zylinderölen mittels weißglühender Zünddrähte, wobei Spannung und Stromstärke des Zündstromes so reguliert wurden, daß die Flamm- und Zündpunktstemperaturen bei atmosphärischem Druck mit den im offenen Tiegel nach Marcusson ermittelten Werten genau übereinstimmten.

Die mit reinem Platindraht ausgeführten Zündversuche hatten insofern ein schlechtes Ergebnis, als der Platindraht stets nach ein- bis zweimaligem Zünden infolge Oxydation seiner Oberfläche bei den hohen Temperaturen durchbrannte und so eine Wiederholung der Zündprobe bei geschlossener Bombe zur einwandfreien Feststellung des Flammpunktes nicht möglich war.

Nachdem noch mit verschiedenen anderen Legierungen negativ verlaufene Zündversuche durchgeführt worden waren, wurde in einer Platinlegierung mit 30 % igem Iridiumgehalt ein Material gefunden, mit dem bis zu 100 Zündungen hintereinander einwandfrei durchgeführt werden konnten.

Die Zündung bei der Bestimmung der Flamm- und Brennpunkte erfolgt über dem Tiegel f durch eine 15 mm lange feine Spirale s_1 aus 0,04 mm starkem Platin-Iridiumdraht.

Der Zünddraht wird durch eine kleine 10-Volt-Batterie zum Glühen gebracht, die sich auf Tafel 3 hinter der Schalttafel n befindet. Der unten auf der Schalttafel sichtbare Schiebewiderstand t dient zum Regulieren der Zündspannung. Darüber ist links das in die Stromleitung zur Kontrolle der Stromstärke eingeschaltete Ampèremeter und rechts das parallel zum Zünddraht geschaltete Voltmeter zur Beobachtung der Stromspannung angebracht. Das Schema des Zündstromkreises ist aus Tafel 2 zu ersehen.

Der Zündstrom wird durch die Zuleitungen t, Tafel 1, dem Zünddraht s_1 zugeführt.

Anfangs war die Konstruktion so ausgeführt, daß der Zünddraht unten in durch kleine Schräubchen zusammengepreßte Schlitze der Zuleitungen t eingeklemmt wurde. Hierbei ergaben sich jedoch verschiedene Schwierigkeiten. Einerseits wurde durch die in den Schlitzen kondensierenden Öldämpfe der Zündstrom unterbrochen und andererseits war das Auswechseln eines beschädigten Zünddrahtes nur mit großem Zeitaufwand durchführbar.

Schließlich ergab sich folgende einwandfreie Befestigungsart der Zünddrähte. Die feinen Platin-Iridiumspiralen werden durch Hartlötung mit den doppelt umgebogenen Enden eines U-förmigen Rahmens aus ½ mm starkem, weichem Kupferdraht verbunden. Mit Hilfe dieses Rahmens, der auf Tafel 2 ersichtlich ist, können die Zünddrähte innerhalb weniger Minuten erneuert werden. Nach dem Einsetzen des Kupferdraht-

rahmens wird der äußere U-förmige Teil mit einem Seitenschneider an den Stellen A abgezwickt und der Zünddraht ist nunmehr für den Versuch fertig eingespannt.

Zur Anzeige der Flammenbildung bei den Flamm-, Brenn- und Zündpunktsbestimmungen ist symmetrisch zur Zünddrahtspirale auf der anderen Seite des Thermoelementes über dem Öltiegel eine zweite ähnlich ausgeführte Spirale s_2, Tafel 4, ebenfalls aus 0,04 mm starkem, 30 % igem Platin-Iridiumdraht angebracht.

Beide Spiralen werden zweckmäßig so an den Stromzuführungen befestigt, daß sie beim Visieren über den Rand des Öltiegels hinweg gerade unterhalb dieser Visierlinie liegen.

Die Anzeigespirale ist zur Messung ihres elektrischen Widerstandes an eine Gleitdraht-Meßbrücke u, Tafel 3, angeschlossen worden, deren Schaltungsschema auf Tafel 2 und die selbst auf Tafel 3 vorn in der Mitte des Tisches sichtbar ist. Bei Ausführung eines Versuches wird der Gleitdrahtwiderstand der Meßbrücke so einreguliert, daß der Zeiger des Anzeige-Galvanoskops der Meßbrücke auf Null steht. Gemäß der Tatsache, daß der elektrische Widerstand der feinen Platin-Iridiumspirale mit der Temperatur zunimmt, schlägt der Zeiger des Galvanoskops bei Flammenbildung über der Öloberfläche des Tiegels plötzlich stark aus. Mit Rücksicht auf ein möglichst trägheitsloses Arbeiten dieser Anzeigevorrichtung wurde der Platin-Iridiumdraht so dünn wie irgend möglich gewählt, nämlich 0,04 mm. Der Draht der Anzeigevorrichtung wird ebenfalls mittels des bei Besprechung der Zündvorrichtung beschriebenen U-förmigen Rahmens aus ½ mm starkem weichem Kupferdraht ausgewechselt und hat bisher bei den durchgeführten vielen hunderten von Versuchen nicht im geringsten zu Störungen Anlaß gegeben. Es ist darauf zu achten, daß die im unteren Teil der Meßbrücke befindliche 1,5-Volt-Batterie nach etwa 50 Versuchen so erschöpft ist, daß der Ausschlag des Zeigers bei der Flammenbildung über der Öloberfläche kleiner wird und die Batterie erneuert werden muß.

Um den für die Versuche nötigen Druck zu erzeugen, ist an der rechten Seite des Versuchstisches, wie aus Tafel 3 ersichtlich, eine Preßpumpe v angebracht, mit welcher in der Bombe a ein Druck von 35 Atm. Überdruck erzeugt werden kann. Unterhalb der Luftpumpe ist ein Dreiwegehahn angebracht, welcher gestattet, die Preßluft einer rechts unten auf Tafel 3 sichtbaren, auf dem Boden liegenden Preßluftflasche w zu entnehmen.

Unter dem Versuchstisch ist noch ein Kühlbehälter angebracht, durch welchen die Luftzuführungsleitung in Form einer großen Kühlschlange geführt ist, um, für den Fall, daß man höhere Drücke mit der Preßluftpumpe erzeugt, die erhitzte komprimierte Luft zu kühlen.

Diese Kühlung ist beim Entnehmen der Preßluft aus der Flasche überflüssig und braucht hierbei kein Wasser in den Kühlbehälter eingefüllt zu werden.

Die Preßluft wird durch die rechte Zuführung x, welche in den oberen Bund der Bombe eingeschraubt ist, über ein Absperrventil und ein außerhalb desselben befindliches Manometer zugeführt.

Auf der linken Seite der Bombe ist ein Abführungsstutzen y in den Bund eingeschraubt, an welchem ein Sicherheitsventil, ein Manometer und ein Absperrventil angebracht sind.

Unterhalb des Deckels ist außerdem eine Hülse z' angebracht, in welche ein Thermometer z in Öl eintaucht, um die Temperatur im Innern der Bombe zu kontrollieren.

Alle elektrischen Leitungen sind beim Durchführen durch den Deckel durch Gummischlauch, unterhalb desselben durch Glimmerscheibchen und oberhalb durch Scheibchen aus Vulkanfiber isoliert und dann gemeinsam durch einen starken Gummischlauch hindurchgezogen, so daß sie sich beim Schließen und Öffnen des Deckels nicht verwirren und auch nicht leicht beschädigt werden können.

Durchführung der Versuche.

Die Versuche zur Bestimmung des Flamm-, Brenn- und Zündpunktes wurden mit 16 Zylinderölen, die von drei verschiedenen Firmen stammten, durchgeführt. Die Ölsorten sind im folgenden mit den großen Buchstaben A bis Q bezeichnet und sind die Versuchsergebnisse in den Tabellen 1—16 aufgezeichnet und auf den Tafeln 5—20 aufgetragen worden.

Die Ausführung eines Flammpunktsversuches geht folgendermaßen vor sich:

Der Metalltiegel f wird mit dem zu untersuchenden Öl bis zur Marke, welche 15 mm unterhalb des Tiegels angebracht ist, gefüllt, in den Heiztiegel g eingesetzt, das ganze Unterteil auf die Heizstromzuführung h aufgeschoben und die beiden Schrauben j und l, Tafel 1 und 4, leicht angezogen. Währenddessen liegt der Deckel auf dem auf Tafel 3 sichtbaren, hinter der Schalttafel n befindlichen Dreifuß. Alsdann wird der Zündstromkreis durch Niederdrücken des links vor der Schalttafel befindlichen Druckknopfes D nachgeprüft und durch Verschieben des Regulierwiderstandes t auf die durch einen besonderen Versuch vorher ermittelte Spannung, die auf dem auf der Schalttafel rechts befindlichen Voltmeter angezeigt wird, eingestellt.

Zur Feststellung der richtigen Zündspannung ist zunächst der Flammpunkt des zu untersuchenden Öles im normalen offenen Tiegel nach Marcusson festzustellen. Alsdann wird ein Versuch mit dem

neuen Apparat ebenfalls im offenen Tiegel ausgeführt, während der Deckel auf dem Dreifuß ruht, und wird hierbei die Voltzahl ermittelt, die nötig ist, um dieselbe Flammpunktstemperatur wie im Marcusson-Apparat zu ergeben. Es sind hierzu manchmal zwei bis drei Vorversuche notwendig. Dieser Vorversuch muß jedesmal durchgeführt werden, wenn ein Zünddraht neu ausgewechselt worden ist. Denn es läßt sich bei der Feinheit des Drahtes von 0,04 mm Durchmesser nicht vermeiden, daß der Draht nach dem Hartlöten mit dem Kupferdraht nicht immer dieselbe Länge hat. Kleine Längenunterschiede des Drahtes machen bei dem äußerst feinen Durchmesser im Widerstande gleich sehr viel aus.

Es wird außerdem empfohlen, die Einstellung des Zündstromes bei jedem neuen Öl in Vergleich mit dem Marcusson-Apparat vorzunehmen, weil bei der hohen Temperatur des Zünddrahtes eine katalytische Wirkung der Öldämpfe auf die Platinlegierung stattfindet, die bei kaltem Zustand nicht festzustellen ist und die sich etwas mit der Zusammensetzung des Öles ändert.

Alsdann wird der Stromkreis der Meßbrücke u durch Niederdrücken der an derselben befindlichen kleinen Taste nachgeprüft und der Zeiger des Galvanoskops der Meßbrücke durch Drehen des Knopfes des Gleitdrahtwiderstandes auf Null eingestellt.

Der Zünddraht glüht nicht, wenn der Stromkreis unterbrochen oder der Draht beschädigt ist, und die Meßbrücke zeigt bei Beschädigung des Flammen-Anzeigedrahtes einen unendlich großen Widerstand an.

Wenn Zünd- und Anzeigedraht in Ordnung gefunden wurden, wird der Deckel vorsichtig an den beiden Handgriffen angefaßt und auf die Bombe aufgesetzt. Die Dichtungsfläche der Bombe wird vorher mit etwas Öl bestrichen, wodurch die Dichtungsfläche stets gut erhalten bleibt.

Der vorsichtig aufgesetzte Deckel wird dann kurz hin und her gedreht, um die schwache Ölschicht auf der Dichtungsfläche gut zu verreiben.

Alsdann wird der Deckel so gestellt, daß die beiden Handgriffe senkrecht zur Verbindungslinie des Ein- und Auslaßstutzens liegen. Auf diese Weise werden die Löcher des Deckels immer in gleiche Lage zu den Löchern des Flansches gebracht und stimmen, da die Löcher in dieser Stellung gleichzeitig durch Deckel und Flansch gebohrt worden sind, stets überein.

Die Muttern werden dann, nachdem sie mit der Hand aufgeschraubt worden sind, mit dem Steckschlüssel übers Kreuz sanft angezogen und nochmals der Reihe nach etwas fester nachgezogen.

Darauf wird die Bombe mit Preßluft gefüllt, und zwar etwas höher, als dem Druck entspricht, bei welchem die Untersuchung ausgeführt

werden soll. Es wird dann das an der Bombe rechts befindliche Einlaßventil geschlossen und der noch zu hohe Druck zum Teil durch Anlüften des Sicherheitsventiles und zum Teil durch Öffnen des links an der Bombe befindlichen Auslaßventiles abgelassen. Es hat sich dies im Laufe der Untersuchungen als sehr notwendig herausgestellt, um vor jedem Versuch das Sicherheitsventil auf richtiges Funktionieren zu prüfen und außerdem festzustellen, ob die Auslaßleitung frei ist. Es ist vorgekommen, daß sowohl Sicherheitsventil wie Auslaßleitung durch Ölrückstände verkrustet waren, und daher sind die beiden Kontrollen unbedingt vor jedem Versuch vorzunehmen.

Dann wird bei dem in die Heizleitung eingebauten festen Widerstand m, der sich auf Tafel 3 hinter der Schalttafel n befindet, der Stecker in das Loch gesteckt, welches dem daneben verzeichneten Untersuchungsdruck entspricht. Bei höheren Versuchsdrücken muß von diesem festen Widerstand mehr ausgeschaltet werden, um auf die entsprechende Temperatur zu kommen wie bei niedrigen Drücken.

Der vorn an dem Versuchstisch befindliche Regulierwiderstand o für die Heizung wird, um ein Regulieren nach beiden Seiten zu ermöglichen, auf 20 Ohm eingestellt und der Heizstrom dann durch Einstecken des Steckkontaktes und Schließen des Schalters p eingeschaltet.

Mit zunehmender Temperatur des Öles steigt auch die Lufttemperatur in der Bombe und damit der Druck in derselben. Der entstehende Überdruck ist von Zeit zu Zeit abzulassen. Wenn man auf diese Weise den Druck in der Bombe stets auf den Versuchsdruck einreguliert, erhält man genauere Werte, als wenn man im Augenblick der Entflammung des Öles den höheren Druck ablesen will, weil dieser im Augenblick der Zündung schnell ansteigt und man beim Ablesen leicht einen zu hohen Wert feststellt.

Es wird nunmehr das Ansteigen der Temperatur des Öles im Tiegel f auf dem rechts oben auf der Schalttafel befindlichen Anzeigeinstrument r beobachtet und etwa von 150^0 C an von Minute zu Minute gleichzeitig mit der am Thermometer z ablesbaren Lufttemperatur im Innern der Bombe aufgeschrieben. Man reguliert das Ansteigen der Öltemperatur durch Verschieben des Schiebewiderstandes o so ein, daß sie durchschnittlich 8^0 pro Minute beträgt. Die „Richtlinien", die den Versuchen möglichst zu Grunde gelegt worden sind, schreiben zwar ein Ansteigen von nur 3 bis 5^0 C, neuerdings sogar nur 3^0 vor, und es wurde auch versucht, dieses geringe Ansteigen einzuhalten. Dies ist zwar technisch möglich, aber bei zu langsamem Ansteigen der Öltemperatur stieg häufig die Lufttemperatur im Innern der Bombe höher an, als für die Versuche wünschenswert schien, und außerdem vergast der relativ geringe Inhalt des Öltiegels von rund 8 ccm dann um so schneller. Auf Grund der Versuche ergab sich, daß

man zweckmäßig das Ansteigen auf 8^0 C pro Minute einstellt, wobei man bei einiger Übung mit einer Genauigkeit von $\pm$ ein Grad Celsius rechnen kann.

Der Berechnung der Bombe und des Deckels ist eine Höchsttemperatur von 100^0 C zu Grunde gelegt worden, und daher wird auch aus Gründen der Sicherheit die Lufttemperatur im Innern der Bombe möglichst niedrig gehalten, was sich bei einem durchschnittlichen Ansteigen der Öltemperatur um 8^0 C pro Minute leicht erreichen läßt. Unter 150^0 C kann die Öltemperatur ruhig stärker pro Minute ansteigen und wird von diesem Temperaturpunkt an allmählich auf 8^0 C einreguliert.

Das Aufschreiben der Lufttemperatur geschieht eigentlich nur, um eine Kontrolle über die Sicherheit der Bombe auszuüben. Denn nach den angestellten Versuchen hat die in der Bombe gemessene Lufttemperatur keinen Einfluß auf die Höhe der Entflammungstemperatur. Wahrscheinlich ist dieses darauf zurückzuführen, daß an der Stelle, an der das Öl entflammt, also dicht an der Öloberfläche, die Lufttemperatur durch die aufsteigenden Öldämpfe so hoch steigt, daß sie annähernd der Öltemperatur entspricht, die unabhängig von der Temperatur der umgebenden Luft erreicht wird.

Es wird zur Feststellung des Flammpunktes etwa jede halbe Minute zuerst der Knopf an der Meßbrücke u und dann der Knopf D zum Schließen des Zündstromes zwei Sekunden lang niedergedrückt. Wenn dann der Zeiger des Galvanoskops, der kurz vorher immer wieder auf Null einreguliert wird, trotz des Schließens des Zündstromes auf Null stehen bleibt, so findet noch keine Entflammung des Öles statt. Sobald jedoch der Flammpunkt des Öles erreicht ist, schlägt der Zeiger des Galvanoskops der Meßbrücke u beim Niederdrücken des Zündstrom-Druckknopfes D stark nach rechts aus und geht nach Unterbrechung des Zündstromes wieder in seine Nullage zurück.

Es kann hierbei vorkommen, daß, wenn vorher schon die Zündung betätigt wurde, beim Niederdrücken des Knopfes der Meßbrücke der Zeiger des Galvanoskops plötzlich ausschlägt. Es ist bei Flammpunktsbestimmungen beim Aufliegen des Deckels auf dem Dreifuß hinter der Schalttafel beobachtet worden, daß die an der Zündspule s_1 und den Zuleitungsdrähten t kondensierenden Öldämpfe manches Mal noch nach Öffnen des Zündstromkreises nachbrennen und so die entstehende kleine Flamme hinterher die Verpuffung der Öldämpfe bei Erreichung des Flammpunktes herbeiführen kann. Ein Fehler entsteht hierdurch bei der Messung nicht, es muß nur vor dem Trugschluß gewarnt werden, daß die festgestellte Temperatur, da im Augenblick der Anzeige der Entflammung durch die Meßbrücke u der Zündstromkreis nicht geschlossen war, den Zündpunkt bedeute.

Im Anschluß an die Flammpunktsbestimmungen kann nun durch weiteres Erhitzen gleich die Brennpunktsbestimmung mit derselben Ölmenge ausgeführt werden. Die Öltemperatur wird unter dauernder Berücksichtigung des gleichmäßigen Ansteigens um 8° C pro Minute soweit gesteigert, bis beim Schließen des Zündstromes das Galvanoskop der Meßbrücke u einen dauernden starken Ausschlag anzeigt.

Die Nähe der Flamm- und Brennpunkte zeigt sich schon etwa 20° C vorher durch eine deutlich wahrnehmbare Unruhe des Zeigers des Galvanoskops der Meßbrücke an. Diese Schwankungen besitzen jedoch nur eine kleine Amplitude.

Nachdem nun die Flamm- und Brennpunktstemperaturen notiert sind, wird der in der Bombe enthaltene Druck durch das links befindliche Auslaßventil abgelassen und die Bombe geöffnet, wobei der Deckel der Bombe wieder auf den neben derselben befindlichen Dreifuß aufgelegt wird. Alsdann wird von der Inneneinrichtung das Unterteil unter Benutzung kleiner Zangen nach Lösen der Schrauben j und l abgezogen und es kann nach Auswechseln des Tiegels mit einem neuen Öl ein neuer Versuch beginnen.

Vorher ist zweckmäßig, das Thermoelement von den noch an ihm haftenden Ölspuren mittels eines trockenen Lappens, an dem keinesfalls Benzin sein darf, zu reinigen. Falls die von Zeit zu Zeit notwendige Reinigung mit Benzin durchgeführt wird, ist durch Erwärmung des Thermoelementes für restlose Entfernung der Benzinspuren zu sorgen. Wenn nämlich auf diese Weise in das neu zu untersuchende Öl auch nur geringe Spuren von Benzin gelangen, so können sich bei den Versuchen leicht zu niedrige Temperaturen ergeben.

Aus demselben Grunde ist nach der Reinigung des benutzten Tiegels mit Benzin dieser ordentlich auszuglühen und sind mit einer kleinen Stahlbürste die noch darin befindlichen Rückstände auszukratzen, weil sonst bei dem neuen Versuch erhebliche Fehler unterlaufen können.

Nach einer größeren Anzahl von Versuchen werden zweckmäßig die Zünd- und Anzeigedrähte mit einer offenen Flamme, wie beispielsweise mit einem Benzinfeuerzeug, bestrichen, um so die noch daran befindlichen Ölrückstände zu entfernen. Wird dieses häufiger durchgeführt, so tritt bei der Flamm- und Brennpunktsbestimmung niemals das oben geschilderte Nachbrennen auf.

Eine andere Reinigungsmethode läßt sich nicht durchführen, weil auch selbst bei großer Vorsicht meistens die Zünd- und Anzeigedrähte beschädigt werden und erneuert werden müssen.

Ebenso ist nach mehreren Versuchen das Sicherheitsventil herauszunehmen und zu reinigen und ebenso das auf der Auslaßseite y befindliche Absperrventil ganz herauszudrehen und die nur 3 mm starke

Auslaßbohrung erst mit einem 2 mm und dann mit einem 3 mm Draht zu durchstoßen. Eine Verwendung von Benzin zur Reinigung dieser Teile ist auch nur vor größeren Betriebspausen anzuraten, so daß die zurückbleibenden Benzinspuren genügend Zeit zum Verdunsten haben. Das Innere der Bombe selbst ist ebenfalls nach mehreren Versuchen zunächst trocken und vor größeren Versuchspausen mit Benzin auszuwischen.

Die Bestimmung des Selbstzündungspunktes, kurz Zündpunkt genannt, geht in ähnlicher Weise wie die Bestimmung des Flammpunktes vor sich, nur daß hierbei der Zündstrom nicht eingeschaltet wird. Erhitzt man die Öle über die Temperaturen des Flamm- und Brennpunktes hinaus, so tritt plötzlich ohne jedes äußere Zutun eine Selbstzündung ein, die sich durch einen plötzlichen starken Anschlag des Zeigers des Galvanoskops der Meßbrücke u zu erkennen gibt, womit gleichzeitig mit kurzer Verzögerung ein schlagartiges Ansteigen des Druckes in der Bombe eintritt und die Lufttemperatur in derselben ansteigt.

Die Nähe des Zündpunktes gibt sich bereits 20 bis 30° C vorher dadurch zu erkennen, daß zur Erhaltung des gleichmäßigen Ansteigens der Öltemperatur um 8° C pro Minute der in die Heizleitung eingeschaltete Regulierwiderstand erheblich gegen vorher verringert werden muß, so daß der Stromverbrauch stark ansteigt. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß kurz vor dem eigentlichen Zündpunkt eine starke Vergasung und evtl. Zersetzung der Öldämpfe stattfindet, bis schließlich Selbstzündung eintritt. Diese Beobachtung ist insofern sehr wichtig, als daraus hervorgeht, daß mit dem Zündpunkt eine starke Vergasung des Öles einsetzt.

Um also stets eine gute Schmierung der Gleitfläche im Zylinder herbeizuführen, muß man ein Öl verwenden, das bei der höchst vorkommenden Temperatur noch flüssig bleibt. Es muß daher der Selbstzündungspunkt dieses Öles etwa 20° C über der Verwendungstemperatur liegen.

Da die über der Öloberfläche des Tiegels befindlichen beiden Spiralen der Platin-Iridiumlegierung möglicherweise katalytisch eine Selbstzündung der Öldämpfe und damit die Vortäuschung eines Selbstzündungspunktes herbeiführen könnten, wurden eine größere Anzahl Zündpunktsbestimmungen ohne diese Spulen ausgeführt, wobei sich jedoch keinerlei Unterschiede zeigten, die außerhalb der üblichen Meßfehler von $\pm 5^0$ C lagen. Der Eintritt des Selbstzündungspunktes wurde hierbei durch die Drucksteigerung in der Bombe mit genügender Genauigkeit erkannt, wobei jedoch zu beachten ist, daß die Anzeige durch die Drucksteigerung gegenüber der Anzeige mit der Meßbrücke mit einer kleinen Verzögerung erfolgt.

Weiterhin war mit der Möglichkeit zu rechnen, daß sich die Öldämpfe an dem etwas höher temperierten Schamottetiegel oder den Platinzuleitungsdrähten des Heiztiegels entzündeten. Es wurden daher der Heiztiegel wie auch sämtliche Zuleitungen mit 4 mm starker Asbestschnur dicht und dick umwickelt und hierbei Zündpunktsbestimmungen durchgeführt. Es ergaben sich jedoch auch hierbei keinerlei Unterschiede, die über das Maß der normalen Fehlergrenze hinausgingen. Da sich in dem porösen Asbest die Öldämpfe niederschlugen und eine Reinigung mit Benzin die Gefahr mit sich brachte, daß die Asbestwicklung sich vollsog und später zu Fehlmessungen Anlaß gab, wurde bei den weiteren Versuchen die Asbestisolierung weggelassen. Auch auf dem Schamotte-Heiztiegel schlagen sich allmählich Öldämpfe nieder, doch können diese hier durch Reinigen mit Benzin und Erhitzen des Heiztiegels schnell beseitigt werden.

Versuchsergebnisse.

Gemäß dem Vorstehenden sind die Flamm-, Brenn- und Zündpunktsversuche mit 16 Zylinderölen ausgeführt und die Versuchsergebnisse auf den beiliegenden Tabellen 1—16 eingetragen und auf den Tafeln 5—20 aufgezeichnet worden. Als Abszisse ist der Anfangsdruck in der Bombe und als Ordinate die Temperatur des Flamm-, Brenn- und Zündpunktes aufgetragen worden. Es wurden insgesamt rund 500 Versuche ausgeführt. Zunächst wurde durch einen Vorversuch die ungefähre Lage des zu bestimmenden Punktes ermittelt. Der zweite Versuch ermöglichte dann ein genaues Einhalten der gleichmäßigen Versuchsbedingungen vor und im Versuchspunkt. Das Ergebnis des dritten Versuchs war dann, meistens mit nur 1 bis 2^0 C Differenz, gleich dem des zweiten.

In den beiliegenden Tabellen und Tafeln sind in Anbetracht der geringen Unterschiede nur die Mittelwerte aufgetragen worden, wobei bedeutet:

○ = Flammpunkt
□ = Brennpunkt
◙ = vereinigter Flamm- und Brennpunkt
● = Zünd-Flammpunkt
△ = Zündpunkt (Brennpunkt).

Die Kurven der Versuche zeigen, daß die Flammpunktskurve bald in die Brennpunktskurve übergeht und die vereinigte Kurve wiederum mit der Zündpunktskurve zusammenläuft. Grundsätzlich ist dies bei allen Ölen in gleicher Weise zu beobachten. Bei den höheren Drücken ist meistens nur noch ein Zündpunkt feststellbar. Es wurde

bei hohen Drücken vergeblich versucht, mit hell weißglühender, kurz vor dem Durchschmelzen stehender Platin-Iridium-Zündspirale einen Fremdzündungspunkt unterhalb des bereits ermittelten Selbstzündungspunktes zu erhalten, doch ergaben sich keinerlei Unterschiede, die außerhalb der Grenzen der Fehlertoleranzen von $\pm 5^0$ C fielen. Bei hohen Drücken kann also nur noch von einem Zündpunkt gesprochen werden.

Die Flammpunktskurve steigt anfangs immer mit steigendem Druck an und läuft bei allen Ölen bald in die Brennpunktskurve über, die mit steigendem Druck unregelmäßig verläuft, d. h. manches Mal ansteigt, andererseits aber auch abfällt. Ein großer Unterschied zwischen den Ölen aber besteht im Zusammenlaufen der vereinigten Flamm- und Brennpunktskurve mit der Zündpunktskurve, während auch der Verlauf der letzteren erhebliche Unterschiede erkennen läßt.

Im allgemeinen zeigt die Zündpunktskurve bei höheren Drücken einen langsamen Abfall. Wo sie scheinbar horizontal verläuft, ist der Abfall später bei noch höheren Drücken zu erwarten. Die Kurven der Flamm-, Brenn- und Zündpunkte der Öle kann man gemeinsam kurz als die charakteristischen Kurven der Öle bezeichnen.

Eine sehr gute Übereinstimmung der Kurven unter sich zeigen die Heißdampfzylinderöle A, B, F und M, die von drei verschiedenen Firmen stammen und angeblich von ganz verschiedener Herkunft sind. Bei der Durchsicht der Literatur wurde in Heft 7 des Jahrgangs 1928 des Archivs für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen auf Seite 217 eine von Tauß und Schulte angegebene Kurve der Zündpunkte von Zylinderöl bei Zerstäubung des Öls gefunden, die bei den höheren Drücken eine sehr gute Übereinstimmung mit den neuen Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen der Heißdampfzylinderöle A, B, F und M zeigt, wie aus folgender Gegenüberstellung hervorgeht.

atü	Öl n. Tauss u. Schulte	Öl A ^{0}C	Öl B ^{0}C	Öl F ^{0}C	Öl M ^{0}C	Mittelwerte A, B, F, M	Differenz %
30	295	296	301	306	294	299	+1,3
25	308	306	310	314	305	309	+0,3
20	320	315	318	322	316	318	—0,6
15	337	324	328	330	329	328	—2,6
10	365	334	342	342	340	340	—6,9
5	417	350	360	361	361	358	—14,0

Bei den Drücken zwischen 30 und 15 Atm. Überdruck schwankt der Unterschied gegenüber den Untersuchungen von Tauß und Schulte nur zwischen + 1,3 und — 2,6 % Differenz. Bei 10 und 5 Atm. Überdruck steigt die Differenz auf — 6,9 bzw. — 14,0 % an. Dieser allmählich größer werdende Unterschied ist wohl darauf zurückzuführen, daß Tauß und Schulte die angeführten Zündpunkte mit Zerstäubung des Brennstoffs festgestellt haben, während im vorliegenden Fall die Zündpunktsbestimmungen unter Druck im offenen Tiegel ohne Zerstäubung vorgenommen wurden.

Jedenfalls ist die gute Übereinstimmung bei den Drücken über 15 Atm. Überdruck als weiteres Zeichen dafür anzusehen, daß die gemäß der vorliegenden Arbeit bestimmten Zündpunkte, zumindestens bei Drücken über 15 Atm. Überdruck, auch unter anderen Versuchsbedingungen, dieselben Werte ergeben.

Die Kurven des Heißdampfzylinderöls N verlaufen bei höheren Drücken ähnlich wie die vorgenannten Kurven, lassen jedoch in Anbetracht des Verlaufs der Zündpunktskurve bei niedrigeren Drücken auf einen anderen Ursprung schließen.

Die Flugmotorenöle C und D zeigen einen ganz anderen Verlauf der Kurven als die Heißdampfzylinderöle A, B, F und M, während die Kurven des Flugmotorenöls D schon etwas Ähnlichkeit, abgesehen von den niedrigeren Drücken, mit dem Verlauf der Kurven des Heißdampfzylinderöls N zeigen.

Größer ist der Unterschied der Heißdampfzylinderöle gegenüber dem Flugmotorenöl C, bei welchem die vereinigte Flamm- und Brennpunktskurve erst bei 20 Atm. Überdruck in die Zündpunktskurve übergeht, während die Vereinigung dieser Kurven bei den anderen vorgenannten Ölen meistens bei 10 Atm. schon erfolgt ist.

Gewisse Ähnlichkeiten zeigen die Naßdampfzylinderöle E und L, während bei dem Naßdampfzylinderöl K das Zusammenlaufen der vereinigten Flamm- und Brennpunktskurve mit der Zündpunktskurve erst bei 30 Atm. Überdruck erfolgt. Die Gasmotorenöle J und P unterscheiden sich wiederum durch das Zusammenlaufen der Zünd- und vereinigten Flammpunktskurven, die bei dem Öl J bei 30 Atm. und bei dem Öl P bei 20 Atm. Überdruck erfolgt.

Die Dieselmotoren-Zylinderöle G, H, O und Q zeigen im Zusammenlaufen der charakteristischen Kurven wiederum erhebliche Unterschiede, während der Charakter des Kurvenverlaufes selbst bei allen gleichmäßig ist.

Auch der aus den Kurven für einen bestimmten Druck zu entnehmenden Höhe der Werte ist große Beachtung zu schenken.

Das Heißdampfzylinderöl A mit einem Flammpunkt im offenen Tiegel bei Atmosphärendruck von 315° C und einem entsprechenden

Brennpunkt von 355° C wurde für eine Heißdampfmaschine mit rund 30 Atm. Eintrittsdruck verwendet.

Bei 30 Atm. kommt für die Beurteilung des Öles hinsichtlich seiner Verdampfbarkeit weder der Flammpunkt noch der Brennpunkt, sondern nur noch der Zündpunkt, genauer gesagt der Selbstzündungs-Brennpunkt, in Betracht, also 296° C.

Vergleicht man nun bei 30 Atm. die anderen Öle, so sind alle Heißdampfzylinderöle B, F, M und N, das Flugmotorenöl D und die Gasmaschinen- und Dieselmotorenöle O, P und Q nur wenig verschieden.

Höher liegt schon der Selbstzündungspunkt bei 30 Atm. bei den Dieselmotorenölen G, H und dem Gasmotorenöl J.

Am auffälligsten aber ist die Tatsache, daß der Zündpunkt bei 30 Atm. bei den drei untersuchten Satt- bzw. Naßdampfzylinderölen E, K und L durchschnittlich wesentlich höher liegt als bei dem Heißdampfzylinderöl A.

Am höchsten liegt er bei dem Sattdampfzylinderöl E mit 342° C gegenüber 296° C beim Heißdampfzylinderöl A.

Mit Rücksicht auf seine Verdampfbarkeit bei 30 Atm. müßte also hiernach das Sattdampfzylinderöl E für den Betrieb der 30 Atm.-Dampfmaschine besser sein als das nach der Untersuchung im offenen Tiegel scheinbar bessere Heißdampfzylinderöl A.

Bei allen untersuchten Ölen ist das Verhalten der Zündpunktskurve unter 3 Atm. aufgefallen. Während bei den höheren Drücken im allgemeinen mit einem Fehler von ± 5° C zu rechnen ist, fangen die Unterschiede an, bei 3 Atm. größer zu werden, und bei 2 Atm. und darunter oft eine derartige Größe anzunehmen, daß bei den einzelnen Versuchen Abweichungen bis zu 100° C festgestellt wurden. Es sind daher in dem Bereich unter 3 Atm. in den Kurven nur die Punkte angegeben worden, die mit einiger Zuverlässigkeit zu ermitteln waren. Nur bei dem Naßdampfzylinderöl K konnten die Versuche mit einiger Sicherheit bis 1,6 Atm. Überdruck ausgeführt werden und zeigen ein deutliches Ansteigen der Zündpunktskurve bei Druckerniedrigung an.

Bei Bestimmung der Zündpunkte aller Öle ist außerdem bei den niedrigen Drücken, im allgemeinen unter 3 Atm. Überdruck, noch aufgefallen, daß vor dem eigentlichen Zündpunkt ein deutliches Entflammen auftritt, ohne daß das Öl weiter brennt. Man hat also hierbei einen Zünd-Flammpunkt und einen Zünd-Brennpunkt zu unterscheiden, ähnlich wie bei der Fremdzündung bei niedrigen Drücken. Die Kurven dieser Punkte sind in den Öldiagrammen wiedergegeben worden, soweit sie sich einwandfrei feststellen ließen. Bei den Ölen A, B, E, F, M, N, O und Q zeigen die Zünd-Flammpunkte oft erhebliche Unterschiede gegenüber den Zünd-Brennpunkten und ergaben eine von

diesen abweichende Kurve, welche in den Tafeln gestrichelt eingezeichnet wurde.

Bei den Ölen C, D, G, H, J, K, L und P fallen die Zünd-Flammpunkte so nahe mit den Zünd-Brennpunkten zusammen, daß eine besondere Kurve nicht gezeichnet werden konnte, dagegen sind die gemachten Feststellungen in die Tabellen eingetragen worden.

Die Feststellung eines Flamm- und Brennpunktes bei der Selbstzündung läßt die Vermutung aufkommen, daß bei den bisher bekanntgewordenen Apparaten zur Bestimmung des Zündpunktes, die mit Öltropfen oder kleinen in Glaskugeln eingeschlossenen Ölmengen arbeiten und den Zündpunkt nach dem Auftreten eines leichten Verpuffungsknalles ermitteln, lediglich nur der Zünd-Flammpunkt, aber nicht der Zünd-Brennpunkt festgestellt worden ist.

Dieses wäre auch eine Erklärung dafür, daß die zur Selbstzündung im Dieselmotor notwendigen Enddrücke höher liegen als z. B. die auf Grund der Mooreschen Untersuchung errechneten Werte (S. Wärmearchiv 1928 S. 215).

Die Kurven der Zünd-Flamm- und Zünd-Brennpunkte laufen ebenso wie die gewöhnlichen Flamm- und Brennpunkte bald zusammen, und es ist schließlich nur noch eine vereinigte Zünd-Flamm- und Zünd-Brennpunktskurve vorhanden, für die man zweckmäßig nach ihrer Vereinigung die bereits eingebürgerte Bezeichnung Zündpunktskurve gebraucht.

Es drängt sich jetzt noch unwillkürlich die Frage auf, ob sich ein Zusammenhang zwischen den festgestellten Eigenschaften und den ermittelten Kurven der Flamm-, Brenn- und Zündpunkte mit der Art des Öles, der Behandlung oder der Herkunft finden läßt.

Leider sind in dieser Hinsicht die von den Ölfirmen erbetenen Auskünfte nicht so eingehend gegeben worden, daß ein sicherer Schluß hieraus gezogen werden könnte. Nur wenige Angaben gestatten, auf die gestellte Frage überhaupt einzugehen.

Als reine Destillate sind das Sattdampfzylinderöl E, das Heißdampfzylinderöl F, das Dieselmotoren-Zylinder- und Lageröl G bezeichnet worden. Mit Fettöl kompoundiert ist angeblich das Heißdampfzylinderöl B, voltolisiert ist das Flugmotorenöl C und mit Schwefelsäure raffiniert ist das Gasmotorenöl J. Von dem Dieselmotoren-Zylinder- und Lageröl H ist lediglich bekannt, daß es kein reines Destillat ist.

Amerikanischen Ursprungs sind das Flugmotorenöl D, das Naßdampfzylinderöl L, die Heißdampfzylinderöle M und N, das Gasmaschinen- und Dieselmotoren-Zylinderöl O, das Gasmaschinenöl P und das Dieselmotorenzylinderöl Q.

Als deutschen Ursprungs ist als einziges das Naßdampfzylinderöl K angegeben worden.

Von den reinen Destillaten zeigen nur die Öle E und F im Zusammenlaufen der vereinigten Flamm- und Brennpunktskurve mit der Zündpunktskurve bei 12 Atm. Übereinstimmung, wie auch die Flamm-, und Brennpunktskurven sich bei beiden Ölen bei 5 Atm. treffen. Der Kurvenverlauf der Zündpunktskurve ist jedoch bei Drücken unterhalb 15 Atm. vollkommen verschieden. Bei den Dieselmotoren-Zylinder- und Lageröl G laufen die drei charakteristischen Ölkurven erst bei 30 Atm. zusammen, während die Flamm- und Brennpunktskurven sich auch bei 5 Atm. treffen.

Der Charakter der Zündpunktskurve ist ähnlich der des Öles E und verschieden von der des Öles F.

Auffallend ähnlich sind die Kurven der Dieselmotoren-Zylinder- und Lageröle G und H, von denen ersteres reines Destillat und letzteres angeblich kein reines Destillat ist.

Sowohl dem äußeren Verlauf nach, wie auch hinsichtlich der Höhe der Einzelwerte bei den entsprechenden Drücken sind die Kurven der Heißdampfzylinderöle A, B, F und M sehr ähnlich, von denen über A nichts bekannt, B angeblich mit Fettöl kompoundiert, F reines Destillat und M amerikanischen Ursprungs ist.

Hinsichtlich des Ursprungslandes der Öle sind die Angaben zu unvollständig, um aus den Kurven einen sicheren Schluß auf die Herkunft ziehen zu können.

Als feststehend kann angesehen werden, daß die Flamm- und die Brennpunktskurven im allgemeinen bei 5 Atm. Überdruck zusammenlaufen und daher bei höheren Drücken nur von einer vereinigten Flamm- und Brennpunktskurve die Rede sein kann.

Ebenso läuft diese vereinigte Flamm- und Brennpunktskurve bei höheren Drücken mit der Zündpunktskurve zusammen, so daß bei den höchsten Drücken nur noch von einer Zündpunktskurve gesprochen werden kann, die in keinem gleichmäßigen Zusammenhang mit dem im offenen Tiegel nach Marcusson bestimmten Flamm- oder Brennpunkten bei Atmosphärendruck stehen.

Wenn nun die „Richtlinien“ gemäß der Fußnote unter der Tafel für Heißdampfzylinderöle auf Seite 23 der 5. Auflage sogar vorschreiben, daß der Flammpunkt im offenen Tiegel bis 40° C niedriger liegen kann als die Temperatur des überhitzten Dampfes, gemessen am Eintrittsstutzen der Maschine, so ist dies eine Festlegung, die bei den untersuchten Heißdampfzylinderölen, beispielsweise für 30 Atm. Überdruck, in keiner Weise zutrifft.

Kommen wir auf das Beispiel der früher erwähnten Dampfmaschine mit 30 Atm. Eintrittsspannung zurück, so ergibt sich folgendes:

Im offenen Tiegel bei Atmosphärendruck sind für das Heißdampfzylinderöl A bestimmt worden: Flammpunkt o. T. = 315° C

Brennpunkt o. T. = 355° C. Aus Tafel 5 ergibt sich der Zündpunkt bei 30 Atm. zu 296° C. Nach den „Richtlinien" dürfte das Öl also bei 30 Atm. bis zu einer Eintrittstemperatur von 315 + 40 = 355° C benutzt werden. Die an der betreffenden Maschine von dem Verfasser mehrere Male festgestellten Schäden haben schon gezeigt, daß Vorstehendes nicht richtig sein dürfte. Bei 355° C ist der Zündpunkt von 296° C aber bereits um 59° überschritten worden.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

Als Ergebnis der Untersuchung über die Beziehungen zwischen Flamm-, Brenn- und Selbstzündungspunkt von Zylinderölen unter Druck bis 30 Atm. Überdruck ist festzustellen, daß die mit der Drucksteigerung zunächst ebenfalls ansteigende Flammpunktskurve bald in die Brennpunktskurve übergeht, die sich mit dem Druck ungleichmäßig ändert, und daß die vereinigte Flamm- und Brennpunktskurve früher oder später mit der Zündpunktskurve zusammenläuft. Die untersuchten Zylinderöle unterscheiden sich außer durch die Höhe der Werte bei den entsprechenden Drücken insbesondere durch diesen Vereinigungspunkt. Bei niedrigen Drücken kann man bei der Zündpunktskurve ebenfalls eine getrennte Flamm- und Brennpunktskurve erkennen, die sich ähnlich wie die Flamm- und Brennpunktskurve bei Fremdzündung bald vereinigen.

Der Flamm- oder Brennpunkt im offenen Tiegel bei Atmosphärendruck steht in keinem für alle Öle gleichen gesetzmäßigen Zusammenhang mit dem Ergebnis der Untersuchung der Öle unter höheren Drücken. Erst die Untersuchung der Öle unter Druck gibt einen richtigen Anhalt für das Verhalten der Öle hinsichtlich ihrer Verdampfbarkeit bei diesen Drücken. Bei allen Ölen kann man bei höheren bzw. höchsten Drücken nur noch von einem Zündpunkt, aber nicht mehr von einem Flamm- oder Brennpunkt sprechen. Schon dies kennzeichnet die Tatsache, daß man bisher für die Beurteilung des Verhaltens unter Druck den Flamm- und Brennpunkt im offenen Tiegel bei Atmosphärendruck herangezogen hat, als einen unhaltbaren Zustand, und es ist unbedingt richtiger, bei hohen Drücken nur den Selbstzündungspunkt der Beurteilung der Verdampfbarkeit eines Öles zu Grunde zu legen.

Die bisherige Beurteilungsunterlage hat lediglich zu einem unzweckmäßigen Hochzüchten der Öle bei Atmosphärendruck geführt und mit dazu beigetragen, Mißerfolge bei höheren Drücken herbeizuführen.

Breslau, den 1. Juli 1929.

Dipl.-Ing. H. Hassenbach.

Bezeichnungen.

a . . . . Bombe
b . . . . Deckel
c . . . . Flansch
d . . . . Tragring
e . . . . Befestigungsring
f . . . . Öltiegel
g . . . . Heiztiegel
h . . . . erste Stromzuführung des Heizstromes
i . . . . zweite Stromzuführung des Heizstromes
j . . . . Befestigungsschraube an h
k . . . . Verbindungsfeder
l . . . . Befestigungsschraube an i
m . . . . Widerstand in der Heizleitung, der während eines Versuches unveränderlich bleibt
n . . . . Schalttafel
o . . . . Regulierwiderstand für den Heizstrom
p . . . . zweipoliger Heizstrom-Schalter
q . . . . Chromnickel-Nickel-Thermoelement
r . . . . Anzeigeinstrument für das Thermoelement
s_1 . . . . Zündspirale aus 30 % Platin-Iridiumdraht
s_2 . . . . Anzeigespirale aus 30 % Platin-Iridiumdraht
t . . . . Regulierwiderstand für den Zündstrom
u . . . . Gleitdraht-Meßbrücke
v . . . . Preßluftpumpe
w . . . . Preßluftflasche
x . . . . Luftzuführung zur Bombe
y . . . . Gasabführung aus der Bombe
z . . . . Thermometer mit Hülse
B . . . . Brennpunkt
D . . . . Druckknopf zum Schließen des Zündstromes
F . . . . Flammpunkt
○ . . . . Flammpunkt
□ . . . . Brennpunkt
⊡ . . . . Vereinigter Flamm- und Brennpunkt
△ . . . . Zündpunkt (Brennpunkt)
● . . . . Zünd-Flammpunkt
atü . . . . Atmosphären-Überdruck

Tabelle 1
Öl: A

Heißdampfzylinderöl
Zündungstemperaturen in °C.

atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	315	20,0	355	20,0	—	—	—	—
2	326	23,2	353	25,0	—	—	—	—
3	330	26,0	348	27,0	351	30,3	358	32,1
4	330	26,9	344	27,2	347	32,1	354	36,7
5	336	34,8	340	35,1	345	32,1	354	43,0
6	336	43,9	340	44,5	—	—	346	43,0
10	—	—	336	37,8	—	—	334	41,3
15	—	—	—	—	—	—	322	41,0
20	—	—	—	—	—	—	312	41,9
25	—	—	—	—	—	—	306	46,3
30	—	—	—	—	—	—	296	48,0

Tabelle 2
Öl: B

Heißdampfzylinderöl mit Fettöl kompoundiert
Zündungstemperaturen in °C.

atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	320	20,0	360	20,0	—	—	—	—
2	338	23,7	352	24,3	—	—	—	—
3	342	29,1	350	30,4	354	29,8	380	31,6
5	—	—	348	32,1	348	36,1	360	36,9
6	—	—	346	33,2	346	26,7	354	29,0
10	—	—	338	36,8	—	—	337	44,6
15	—	—	—	—	—	—	327	43,5
20	—	—	—	—	—	—	316	49,1
25	—	—	—	—	—	—	309	48,6
30	—	—	—	—	—	—	300	47,1

Tabelle 3
Öl: C

Flugmotorenöl voltolisiert
Zündungstemperaturen in °C.

atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	215	20,0	280	20,0	—	—	—	—
1,6	—	—	—	—	—	—	316	28,6
2	258	26,3	288	28,1	316	29,1	321	27,7
3	272	37,0	284	39,0	324	32,3	326	33,1
5	—	—	292	36,0	—	—	330	32,4
10	—	—	310	30,3	—	—	338	30,1
15	—	—	327	36,9	—	—	332	41,0
20	—	—	322	39,7	—	—	324	45,1
25	—	—	—	—	—	—	319	50,9
30	—	—	—	—	—	—	316	52,6

Tabelle 4
Öl: D

Flugmotorenöl
Zündungstemperaturen in °C.

atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	252	20,0	285	20,0	—	—	—	—
1,6	—	—	—	—	—	—	308	35,7
2	278	35,1	294	36,3	314	40,1	310	38,6
3	285	38,1	295	39,4	316	36,7	314	37,0
5	—	—	309	27,2	—	—	320	31,0
10	—	—	330	29,8	—	—	326	39,0
15	—	—	—	—	—	—	324	35,0
20	—	—	—	—	—	—	316	38,4
25	—	—	—	—	—	—	312	43,1
30	—	—	—	—	—	—	298	53,6

Tabelle 5
Öl: E

Sattdampfzylinderöl
reines Destillat
Zündungstemperaturen in °C.

atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	285	20,0	360	20,0	—	—	—	—
2	314	28,1	347	31,6	360	33,0	—	—
3	321	43,0	335	44,8	339	36,1	340	44,0
5	—	—	328	43,3	—	—	344	39,3
7	—	—	338	41,8	—	—	347	44,4
10	—	—	350	40,2	—	—	348	45,0
15	—	—	—	—	—	—	344	52,3
20	—	—	—	—	—	—	342	51,9
25	—	—	—	—	—	—	340	51,4
30	—	—	—	—	—	—	341	59,0

Tabelle 6
Öl: F

Heißdampfzylinderöl
reines Destillat
Zündungstemperaturen in °C.

atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	335	20,0	380	20,0	—	—	—	—
2	342	33,4	365	35,2	370	36,5	—	—
3	345	31,7	356	32,3	360	39,9	370	40,1
5	344	40,1	347	41,2	351	39,6	358	40,0
10	—	—	337	46,1	—	—	341	47,2
15	—	—	—	—	—	—	325	48,0
20	—	—	—	—	—	—	318	48,1
25	—	—	—	—	—	—	314	44,0
30	—	—	—	—	—	—	309	47,8

Tabelle 7
Öl: G

Dieselmotoren-Zylinder- und Lageröl reines Destillat
Zündungstemperaturen in °C.

atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	205	20,0	250	20,0	—	—	—	—
1,3	—	—	—	—	293	23,2	292	24,3
1,7	—	—	—	—	295	25,6	290	27,2
2	222	26,8	236	27,2	—	—	300	35,6
3	234	27,6	246	28,3	—	—	310	34,0
5	—	—	261	26,7	—	—	317	28,6
10	—	—	299	28,6	—	—	324	35,2
15	—	—	308	30,1	—	—	326	41,3
20	—	—	316	32,6	—	—	331	43,7
25	—	—	325	34,1	—	—	326	44,3
30	—	—	—	—	—	—	330	45,7

Tabelle 8
Öl: H

Dieselmotoren-Zylinder- und Lageröl kein reines Destillat
Zündungstemperaturen in °C.

atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	225	20,0	265	20,0	—	—	—	—
2	251	26,2	265	27,1	315	26,9	312	29,3
3	264	36,0	271	37,4	312	29,3	314	32,1
5	—	—	278	39,2	—	—	321	31,2
10	—	—	302	41,3	—	—	330	40,0
15	—	—	312	38,6	—	—	327	36,0
20	—	—	320	44,2	—	—	329	42,4
25	—	—	322	52,0	—	—	326	46,1
30	—	—	—	53,1	—	—	318	50,6

Tabelle 9
Öl: J

Gasmotorenöl
mit Schwefelsäure raffiniert
Zündungstemperaturen in °C.

atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	205	20,0	240	20,0	—	—	—	—
2	229	22,3	242	24,2	305	29,3	302	25,7
3	239	37,9	244	38,2	302	26,8	306	37,6
5	—	—	261	40,7	—	—	317	37,4
10	—	—	290	45,6	—	—	324	44,3
15	—	—	300	51,8	—	—	324	36,1
20	—	—	308	54,2	—	—	322	41,9
25	—	—	314	41,8	—	—	320	48,7
30	—	—	—	—	—	—	310	51,2

Tabelle 10
Öl: K

Naßdampfzylinderöl
Zündungstemperaturen in °C.

atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	240	20,0	290	20,0	—	—	—	—
1,6	—	—	—	—	—	—	336	28,6
1,8	—	—	—	—	312	26,9	318	27,0
1,9	—	—	—	—	314	24,7	314	24,7
2	268	29,8	291	31,6	307	31,1	309	31,3
3	278	32,6	287	33,1	—	—	318	38,0
5	—	—	289	41,1	—	—	324	37,3
10	—	—	308	46,1	—	—	326	40,2
15	—	—	316	45,9	—	—	328	38,0
20	—	—	318	47,3	—	—	328	45,0
25	—	—	322	48,8	—	—	326	48,2
30	—	—	—	—	—	—	322	52,3

Tabelle 11
Öl: L

Naßdampfzylinderöl

Zündungstemperaturen in °C.

atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	260	20,0	300	20,0	—	—	—	—
1	272	24,0	310	25,4	—	—	—	—
1,6	—	—	—	—	—	—	327	39,2
1,8	—	—	—	—	318	33,6	324	34,1
2	286	32,6	312	33,7	320	37,8	327	38,0
3	298	32,3	312	34,6	—	—	324	37,9
5	—	—	312	37,1	—	—	324	35,2
10	—	—	316	38,9	—	—	322	39,1
15	—	—	318	37,3	—	—	320	46,1
20	—	—	—	—	—	—	313	51,1
25	—	—	—	—	—	—	314	55,6
30	—	—	—	—	—	—	315	58,0

Tabelle 12
Öl: M

Heißdampfzylinderöl

Zündungstemperaturen in °C.

atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	317	20,0	365	20,0	—	—	—	—
2	332	42,3	361	43,1	—	—	—	—
3	337	38,0	355	39,5	361	39,4	374	40,4
5	349	42,9	354	43,1	354	35,0	362	36,1
10	—	—	342	44,5	—	—	340	40,9
15	—	—	—	—	—	—	327	50,0
20	—	—	—	—	—	—	315	53,9
25	—	—	—	—	—	—	306	57,0
30	—	—	—	—	—	—	293	59,3

Tabelle 13
Öl: N

Heißdampfzylinderöl

Zündungstemperaturen in °C.

atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	270	20,0	320	20,0	—	—	—	—
2	286	36,9	306	38,6	312	35,6	321	36,2
3	296	39,9	310	41,3	314	36,8	318	37,0
5	—	—	317	43,1	—	—	326	32,1
10	—	—	328	40,6	—	—	328	38,4
15	—	—	—	—	—	—	322	38,7
20	—	—	—	—	—	—	322	56,1
25	—	—	—	—	—	—	314	57,6
30	—	—	—	—	—	—	306	54,0

Tabelle 14
Öl: O

Gasmaschinen- und Dieselmotorenzylinderöl

Zündungstemperaturen in °C.

atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	228	20,0	273	20,0	—	—	—	—
1,2	—	—	—	—	304	36,7	—	—
1,6	—	—	—	—	287	36,5	296	37,0
2	264	25,0	285	26,4	—	—	297	36,0
3	276	30,0	284	31,6	—	—	310	33,1
5	—	—	292	30,8	—	—	322	29,8
10	—	—	309	37,1	—	—	326	44,3
15	—	—	319	43,1	—	—	322	43,9
20	—	—	321	38,6	—	—	320	38,9
25	—	—	—	—	—	—	310	51,0
30	—	—	—	—	—	—	304	47,4

Tabelle 15
Öl: P

Gasmaschinenöl

Zündungstemperaturen in °C.

atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	216	20,0	266	20,0	—	—	—	—
2	240	26,7	260	28,0	295	24,1	296	24,1
3	252	26,4	260	27,8	293	28,9	290	41,0
5	—	—	278	29,5	—	—	311	39,0
10	—	—	302	36,1	—	—	314	43,2
15	—	—	310	45,7	—	—	318	42,0
20	—	—	314	44,9	—	—	312	46,1
25	—	—	—	—	—	—	310	43,0
30	—	—	—	—	—	—	302	40,9

Tabelle 16
Öl: Q

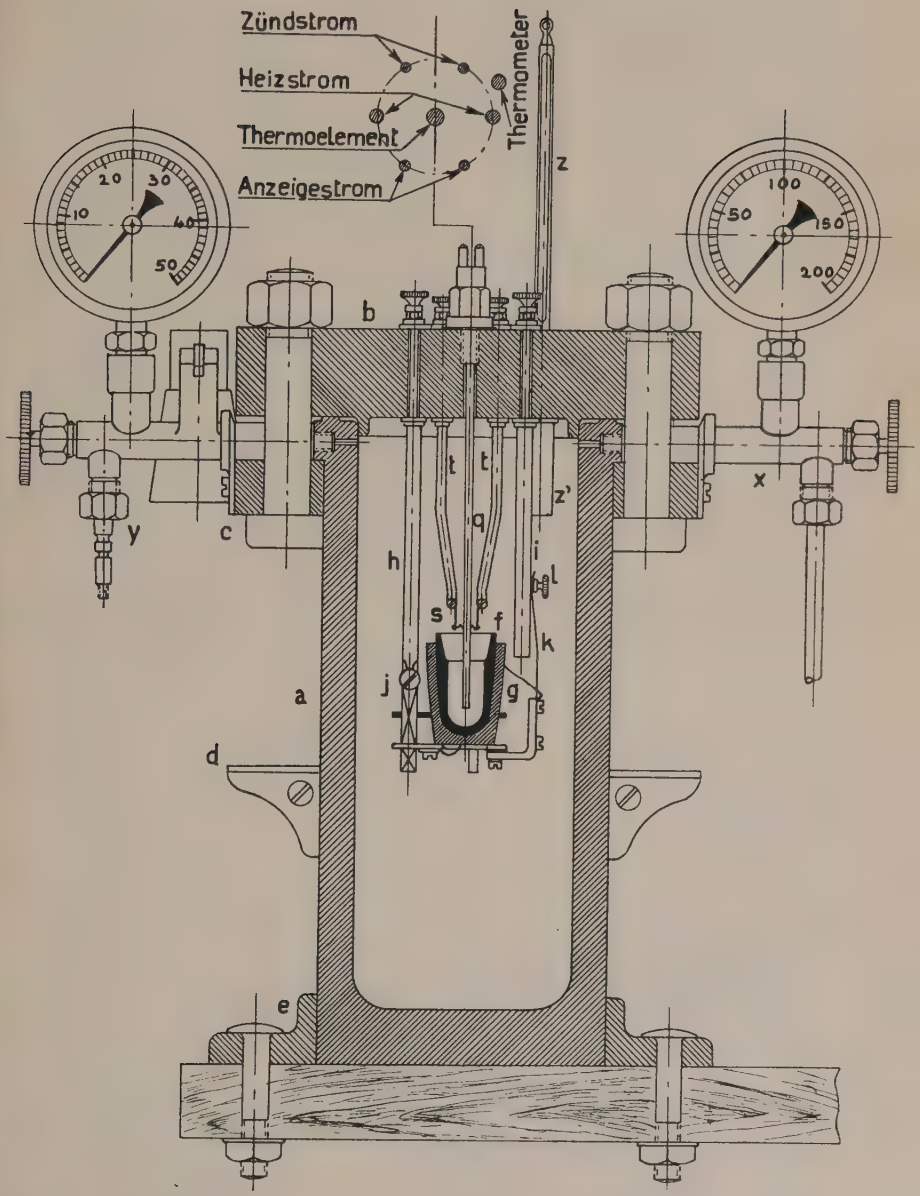
Dieselmotorenzylinderöl

Zündungstemperaturen in °C.

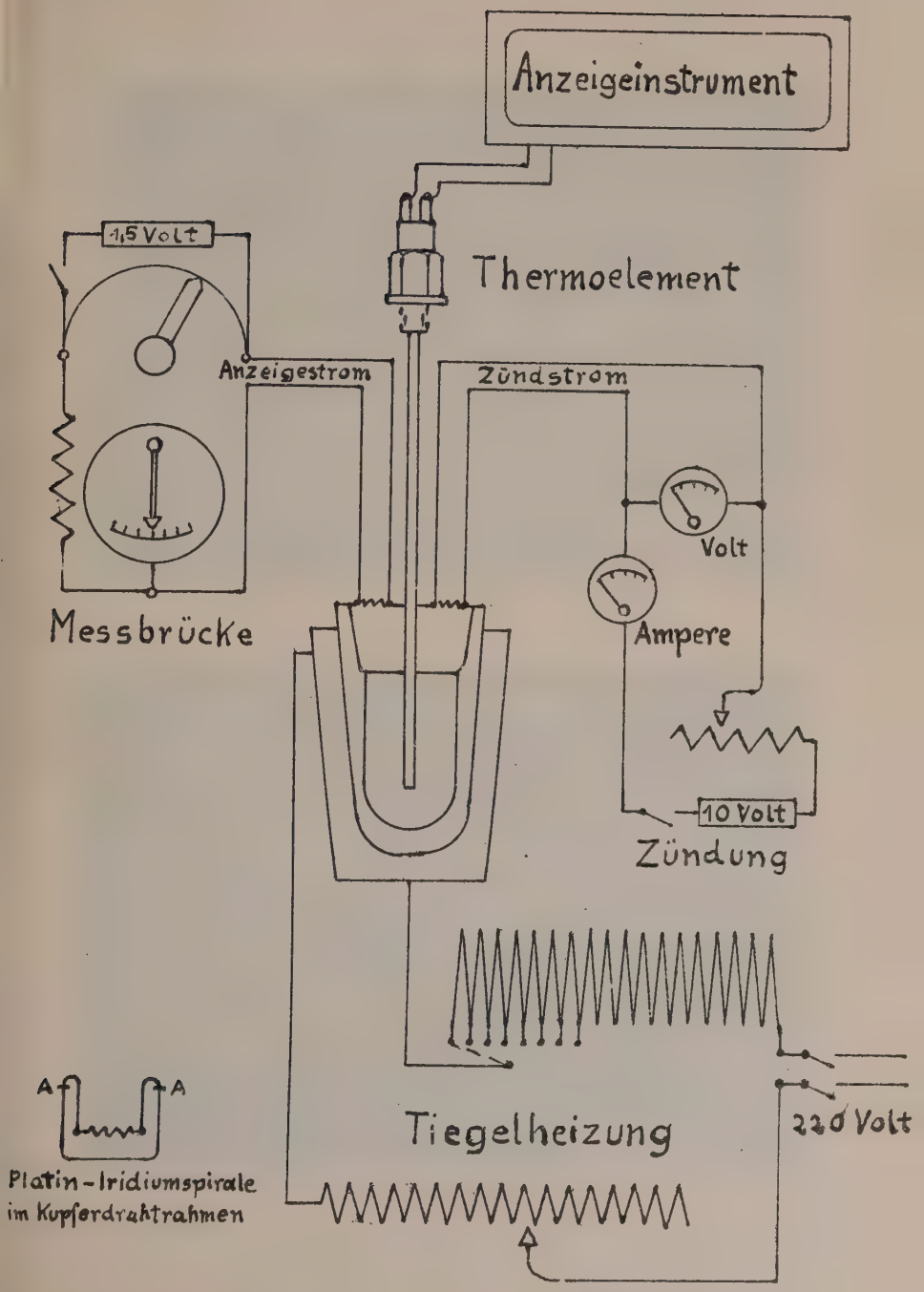
atü	Fremdzündung				Selbstzündung			
	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.	F	Luft-temp.	B	Luft-temp.
0	261	20,0	314	20,0	—	—	—	—
1,5	—	—	—	—	314	33,4	—	—
2	283	37,0	309	39,3	313	31,7	322	32,1
3	296	39,2	308	40,0	312	26,8	316	26,9
5	—	—	316	41,9	—	—	325	29,2
10	—	—	329	39,7	—	—	326	36,0
15	—	—	—	—	—	—	322	43,8
20	—	—	—	—	—	—	312	40,1
25	—	—	—	—	—	—	305	53,2
30	—	—	—	—	—	—	302	50,1

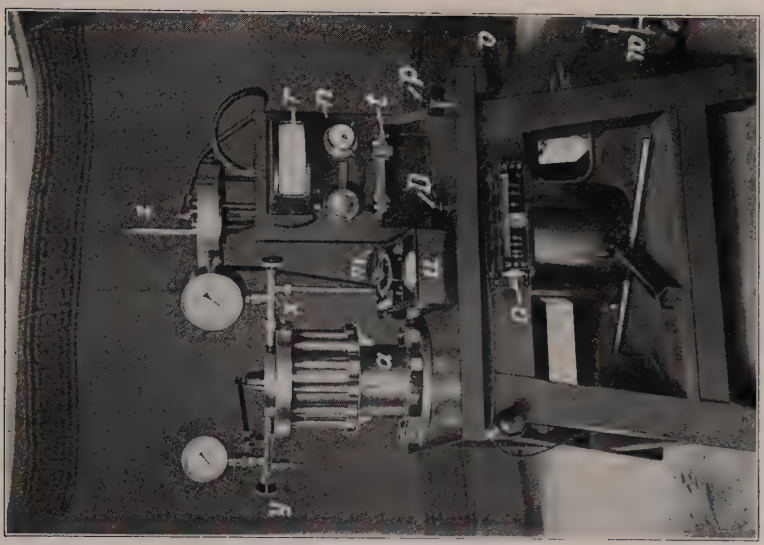
Zuleitungsanordnung im Deckel

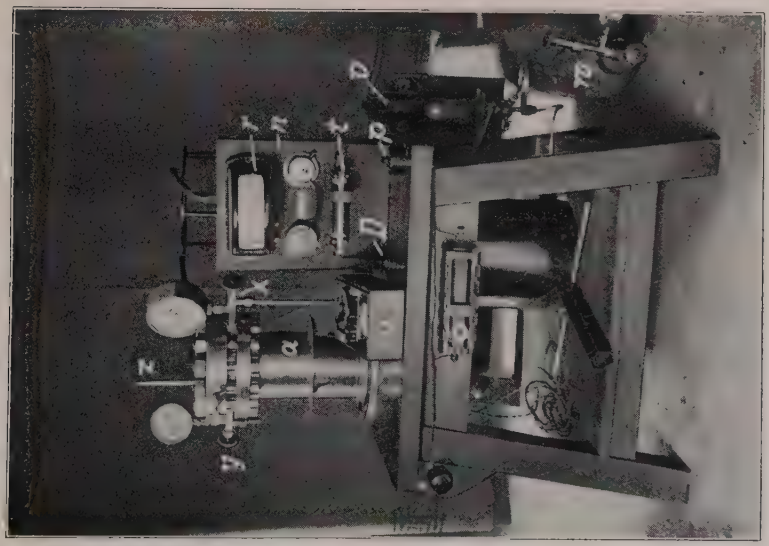
Tafel: I

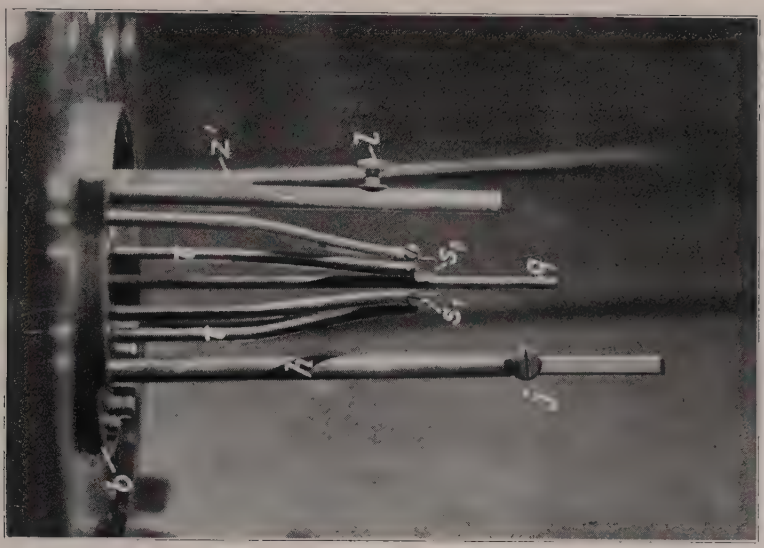


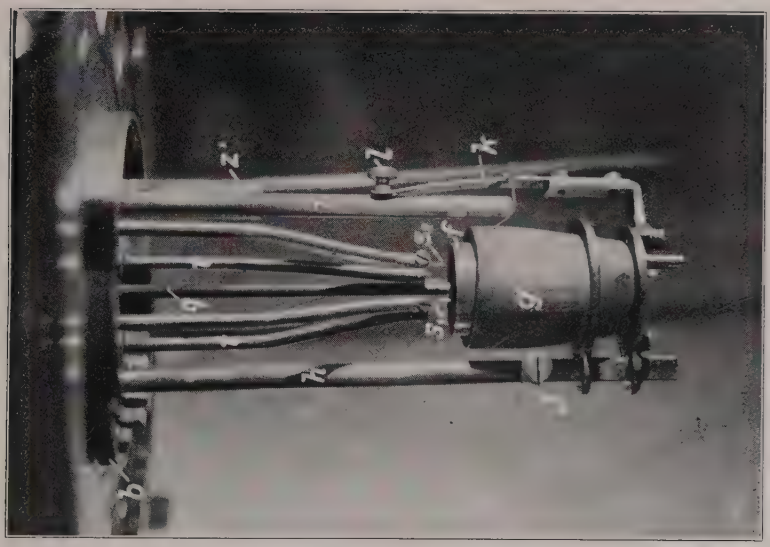
Massstab ca. 1:4
Stutzen xy gekürzt


Anzeigeinstrument
Thermoelement
1,5 Volt
Anzeigestrom
Zündstrom
Messbrücke
Volt
Ampere
10 Volt
Zündung
Tiegelheizung
220 Volt
A
A
Platin-Iridiumspirale
im Kupferdrahtrahmen



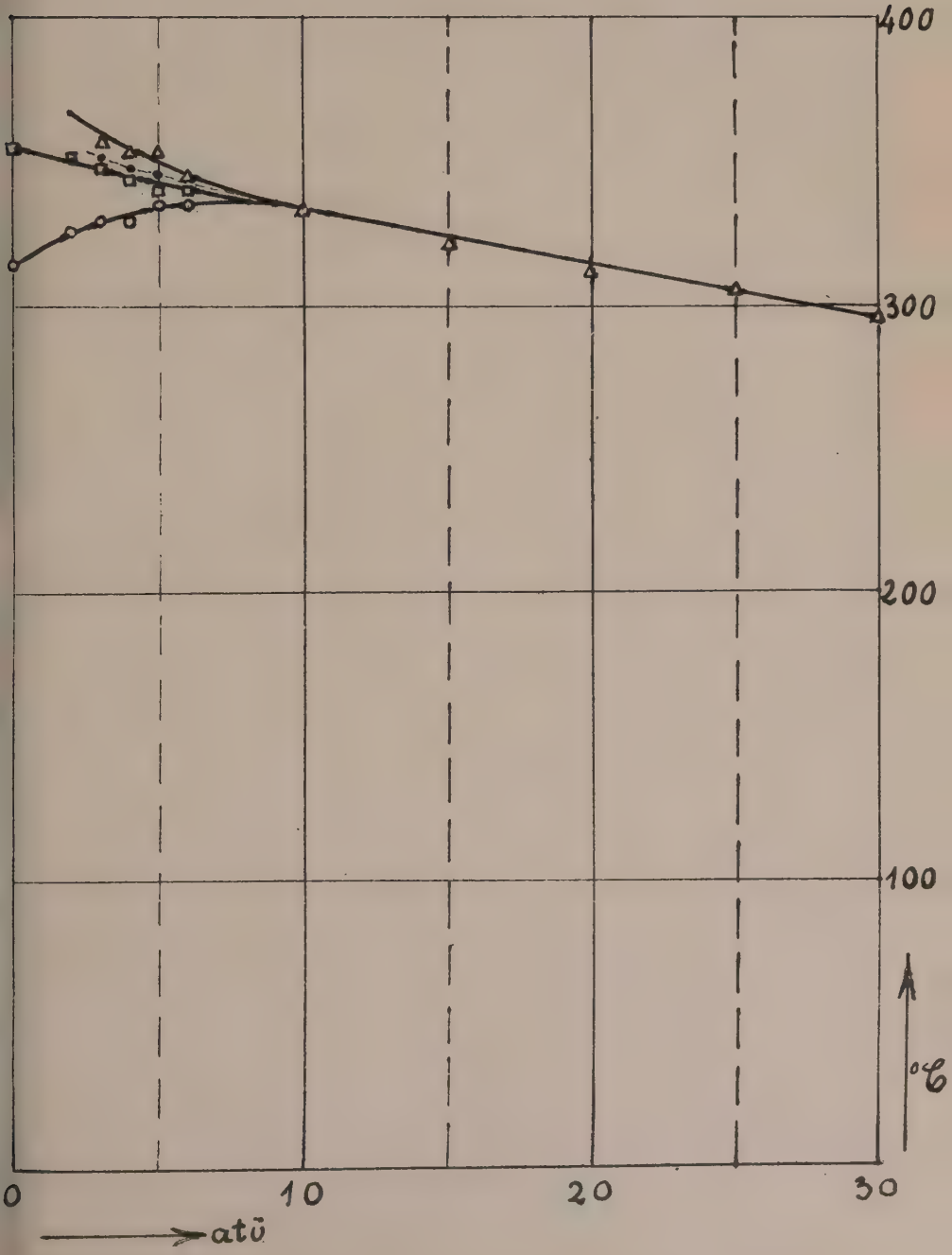






Heissdampfzylinderöl

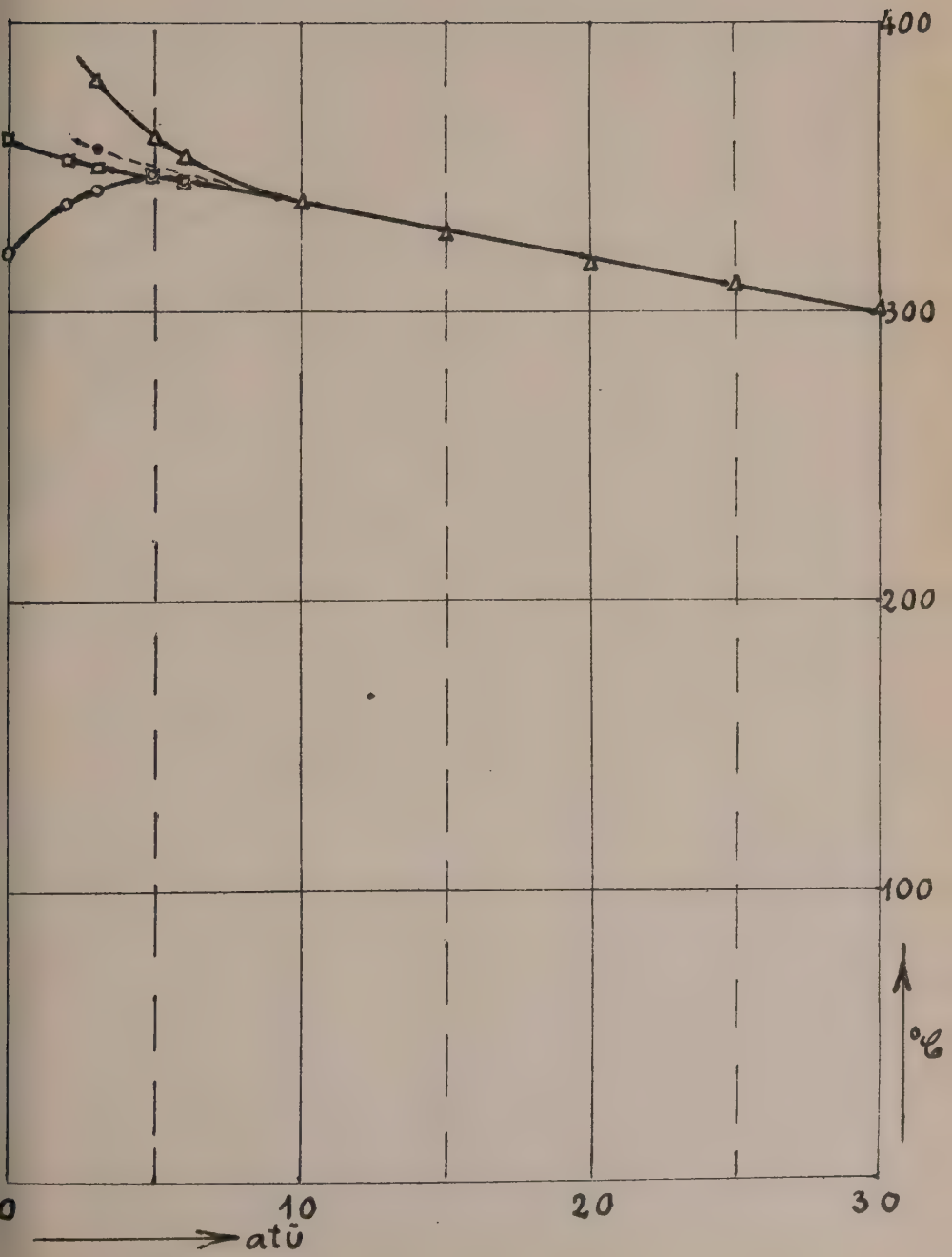
Tafel: 5
Öl: A



Heissdampfzylinderöl

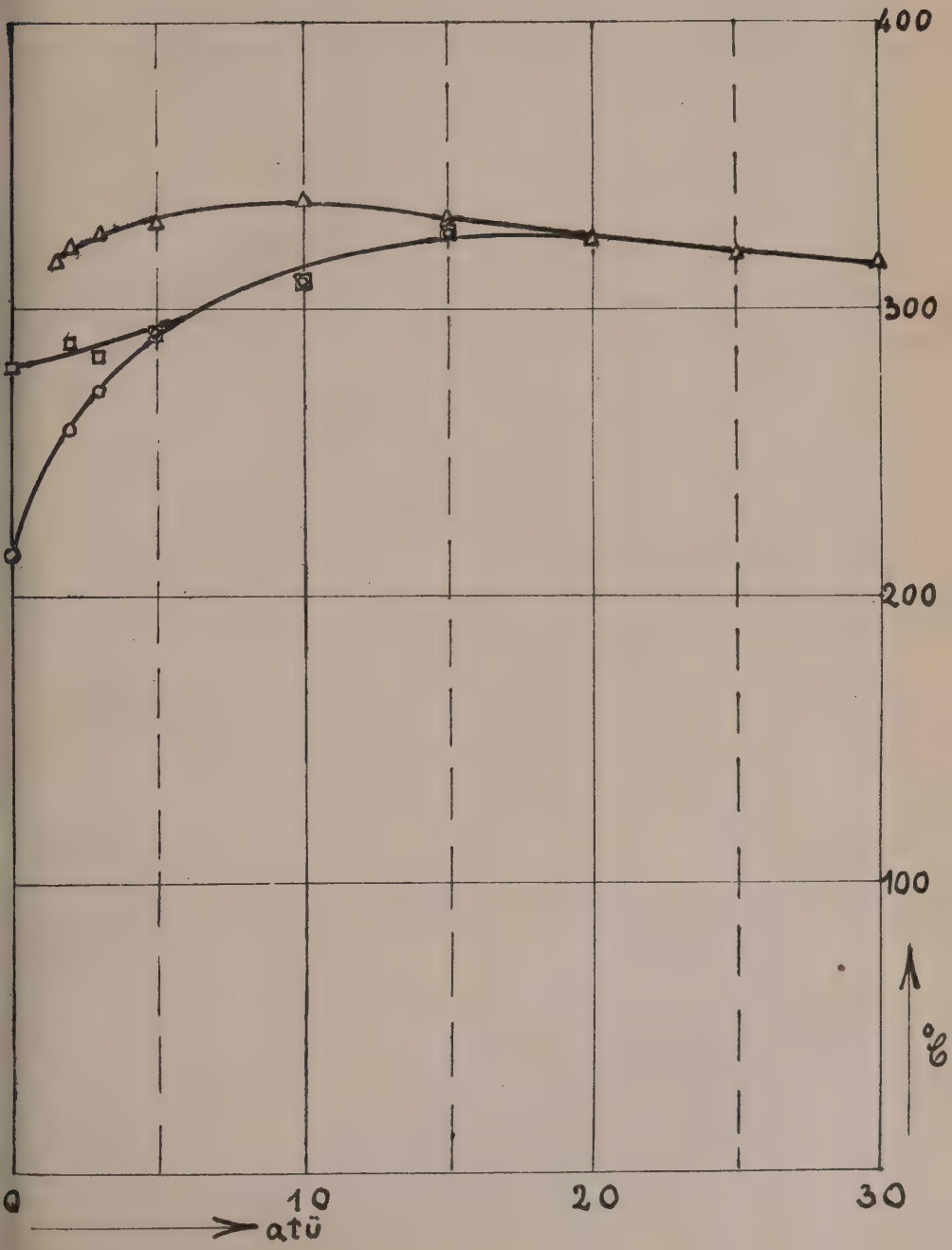
Tafel: 6
Öl: B

mit Fettöl Kompoundiert



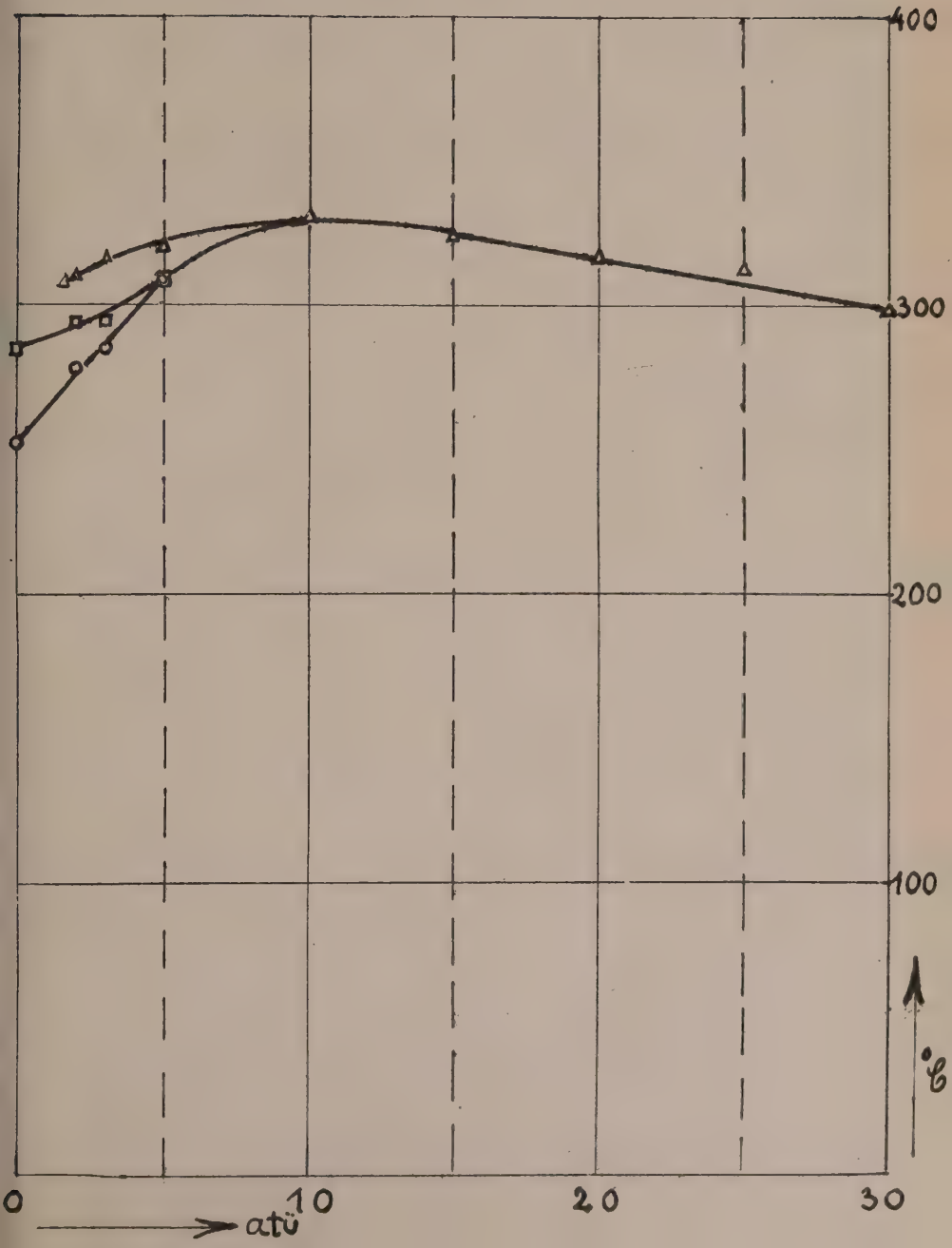
Flugmotorenöl

Tafel: 7
Öl: C



Flugmotorenöl

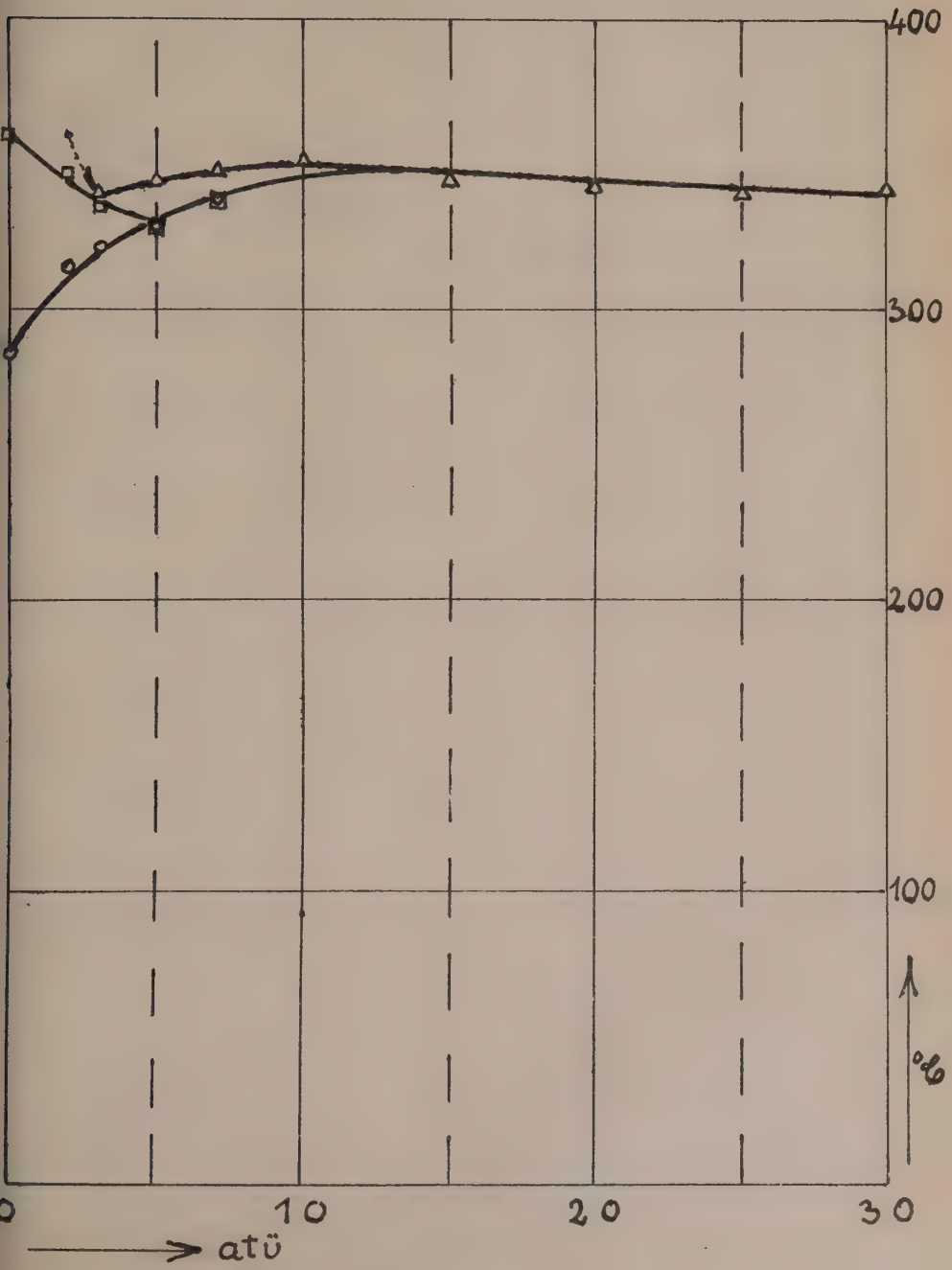
Tafel: 8
Öl: D



Sattdampfzylinderöl

reines Destillat

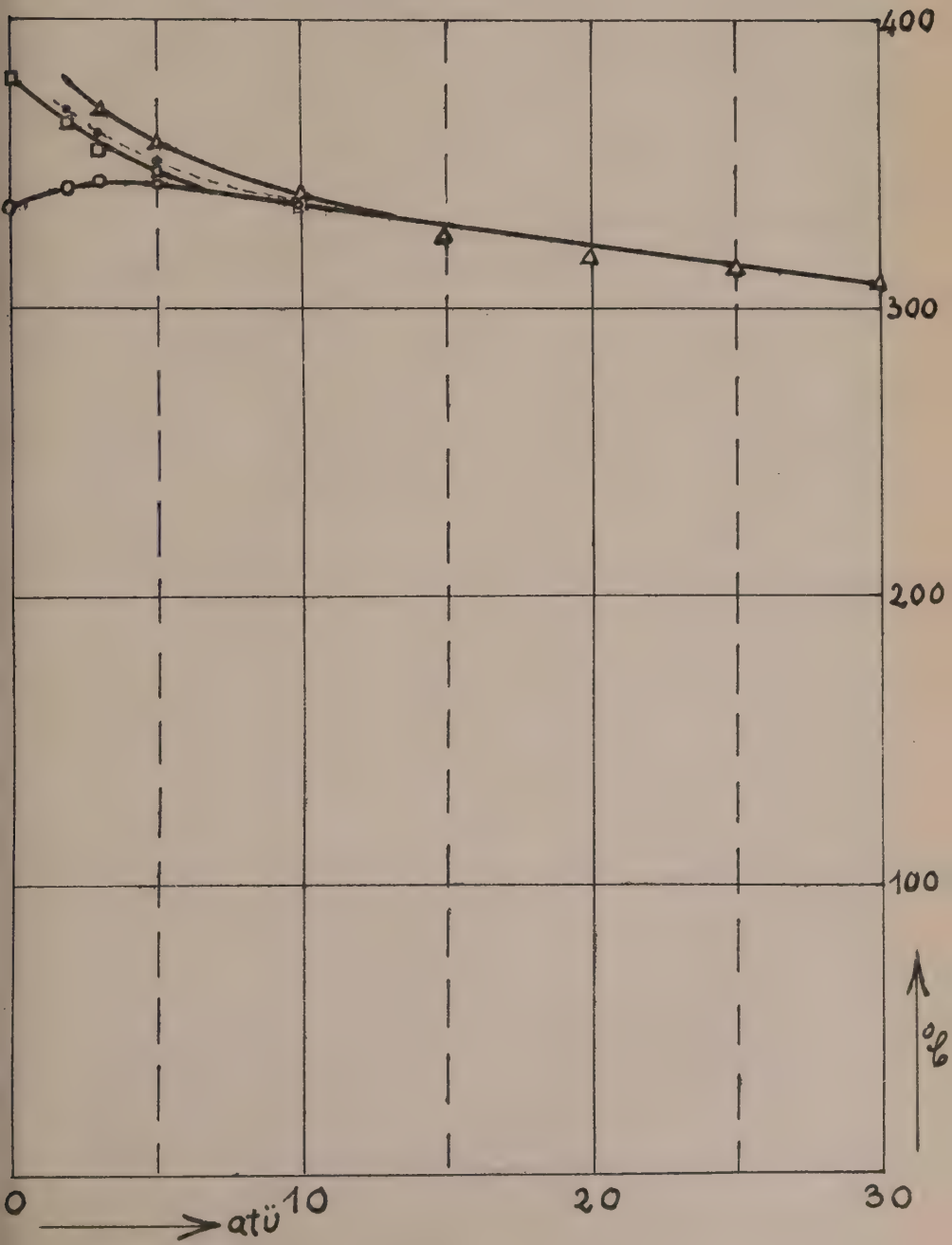
Tafel: 9
Öl: E



Heissdampzylinderöl

reines Destillat

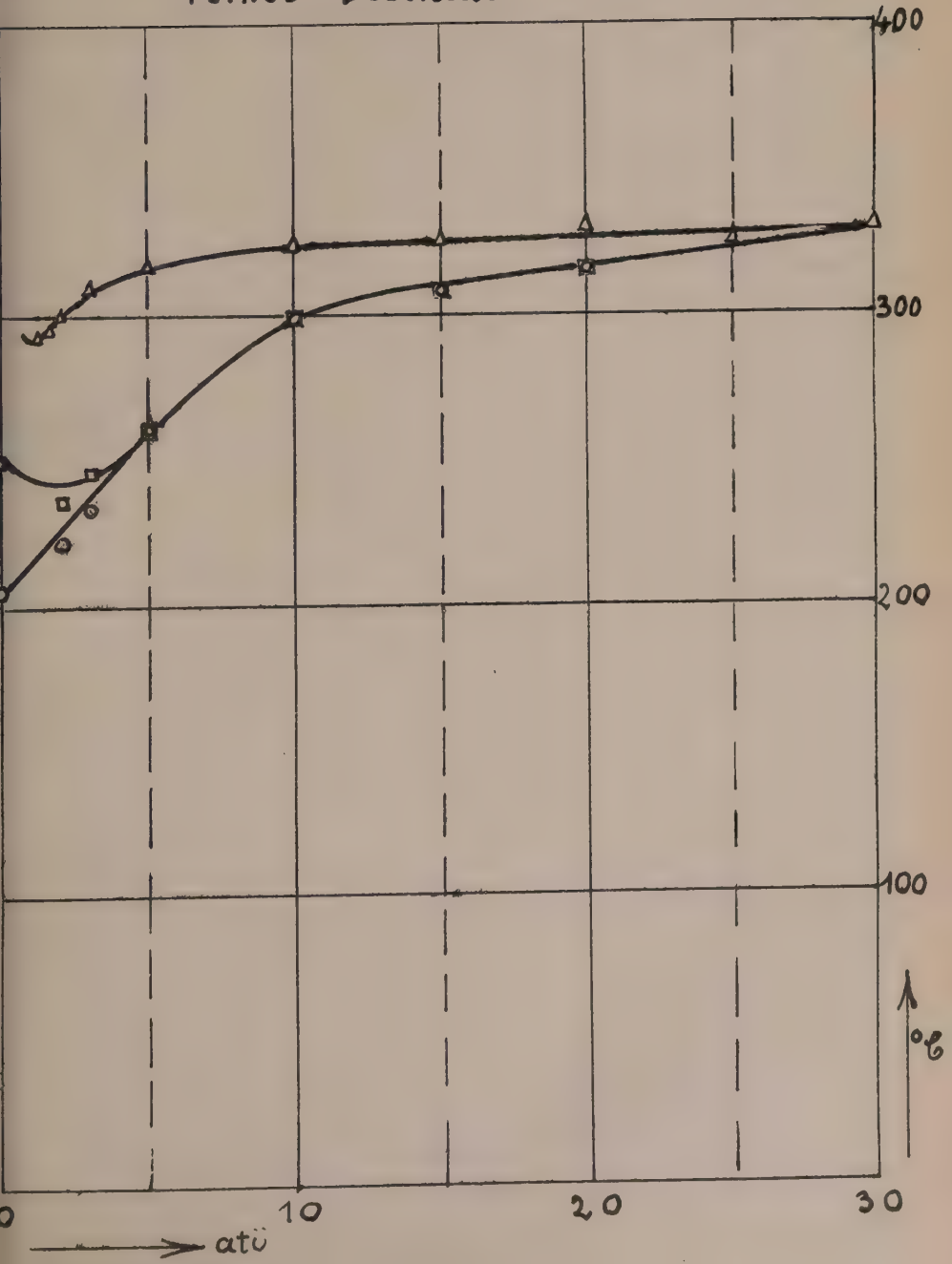
Tafel:10
Öl:F



Dieselmotoren-Zylinder- und Lageröl

Tafel: 11
Öl: G

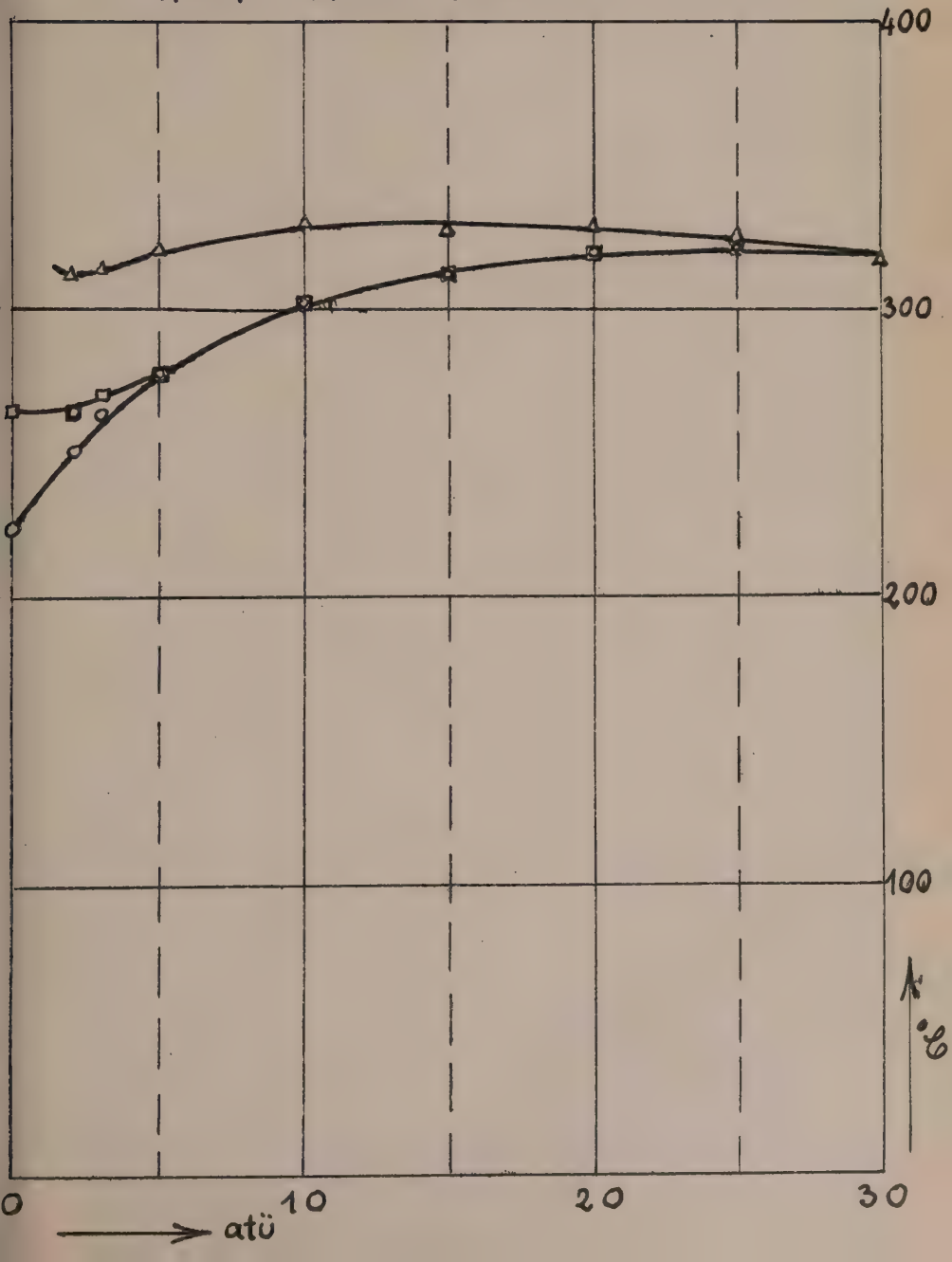
reines Destillat



Dieselmotoren-Zylinder- und Lageröl

Kein reines Destillat

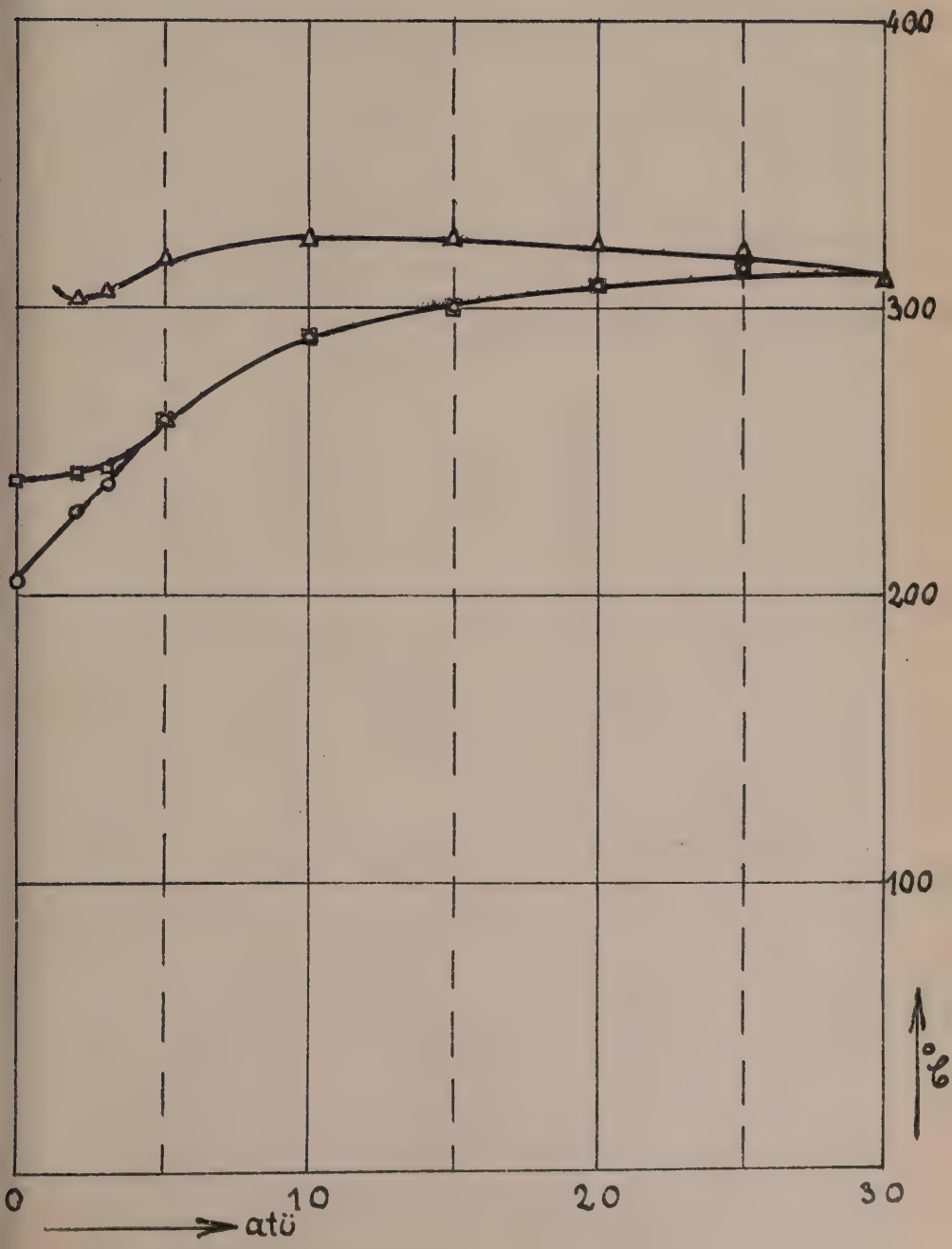
Tafel: 12
Öl: H



Gasmotorenöl

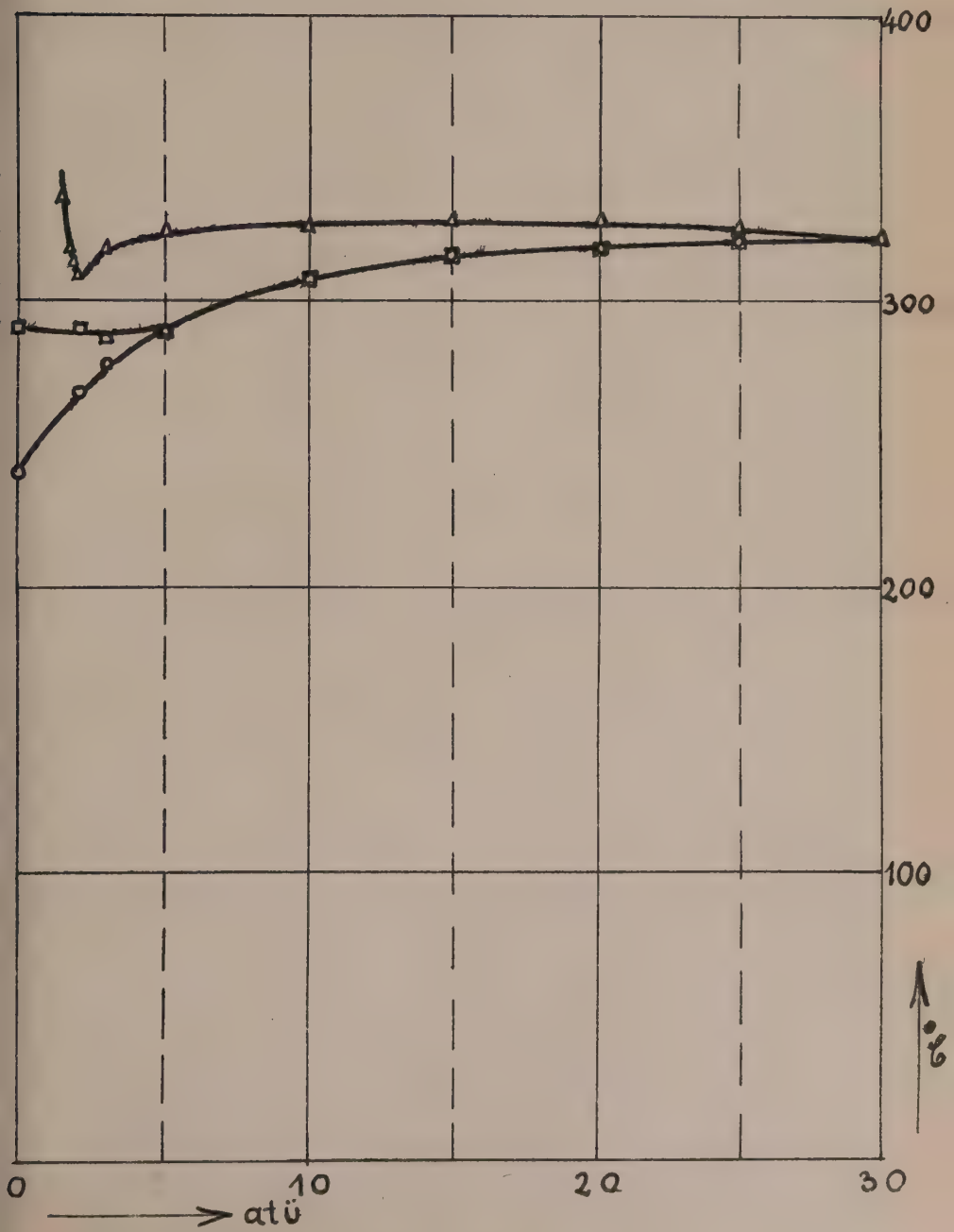
mit Schwefelsäure raffiniert

Tafel: 13
Öl: J.



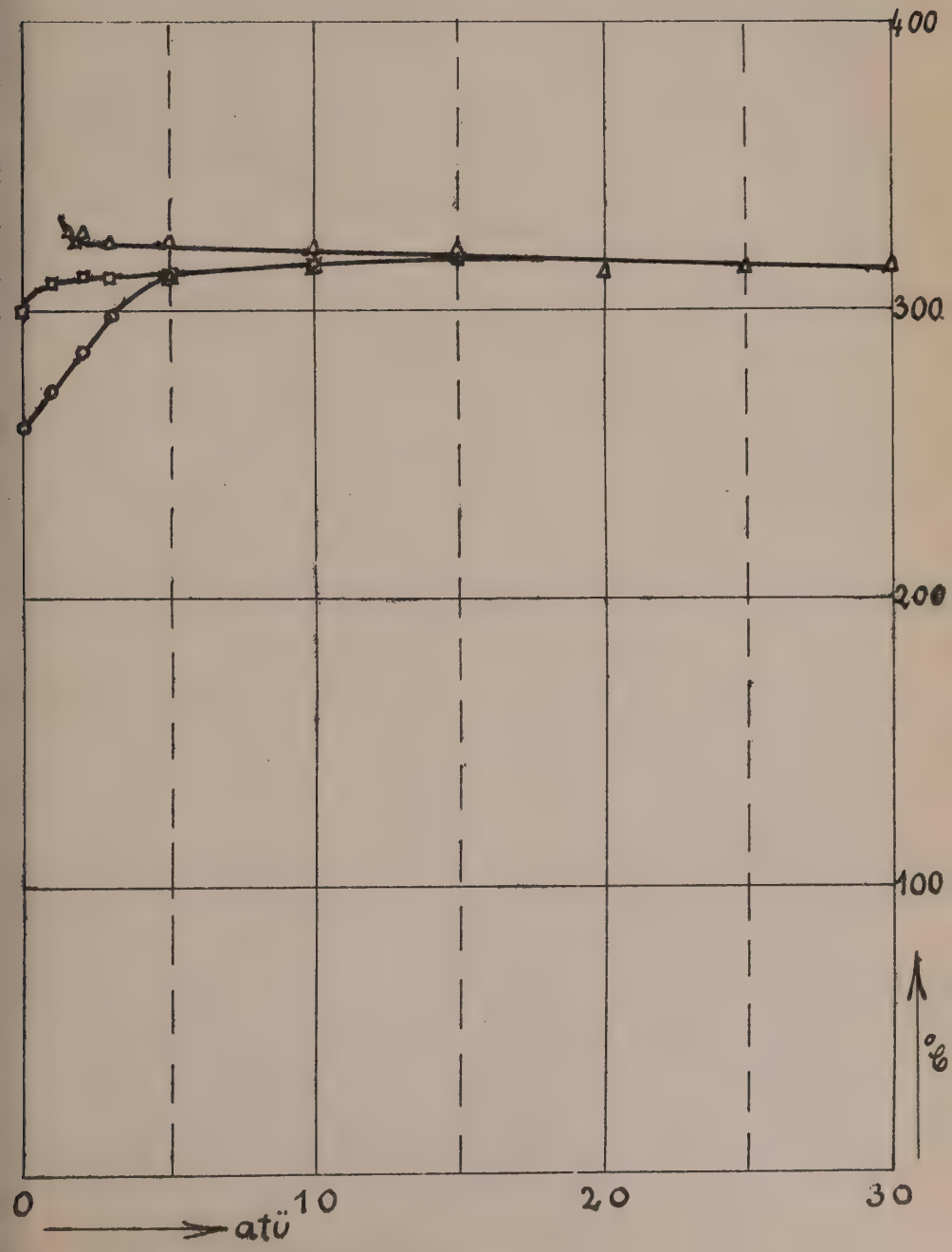
Nassdampfzylinderöl

Tafel: 14
Öl : K



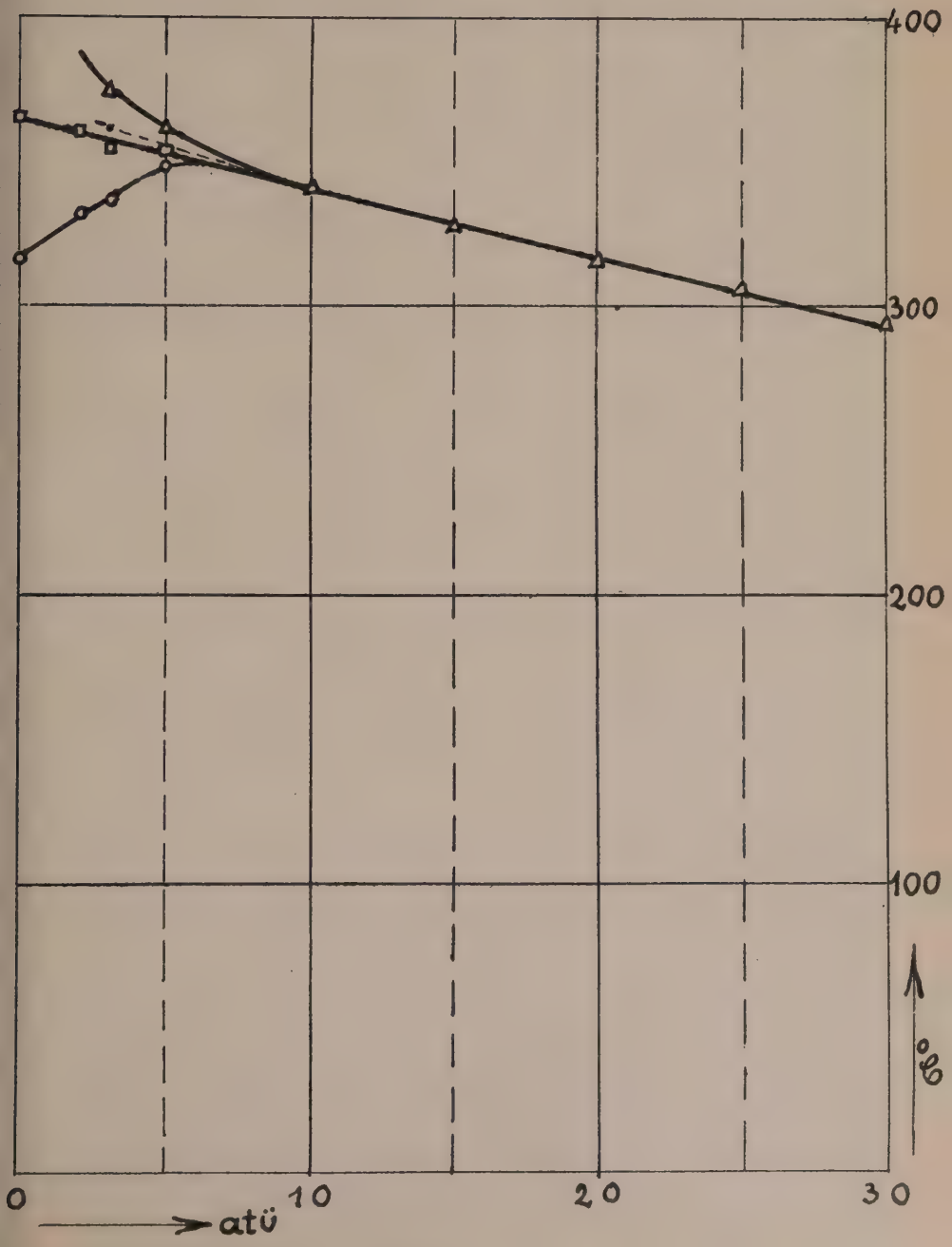
Nassdampfzylinderöl

Tafel: 15
Öl: L



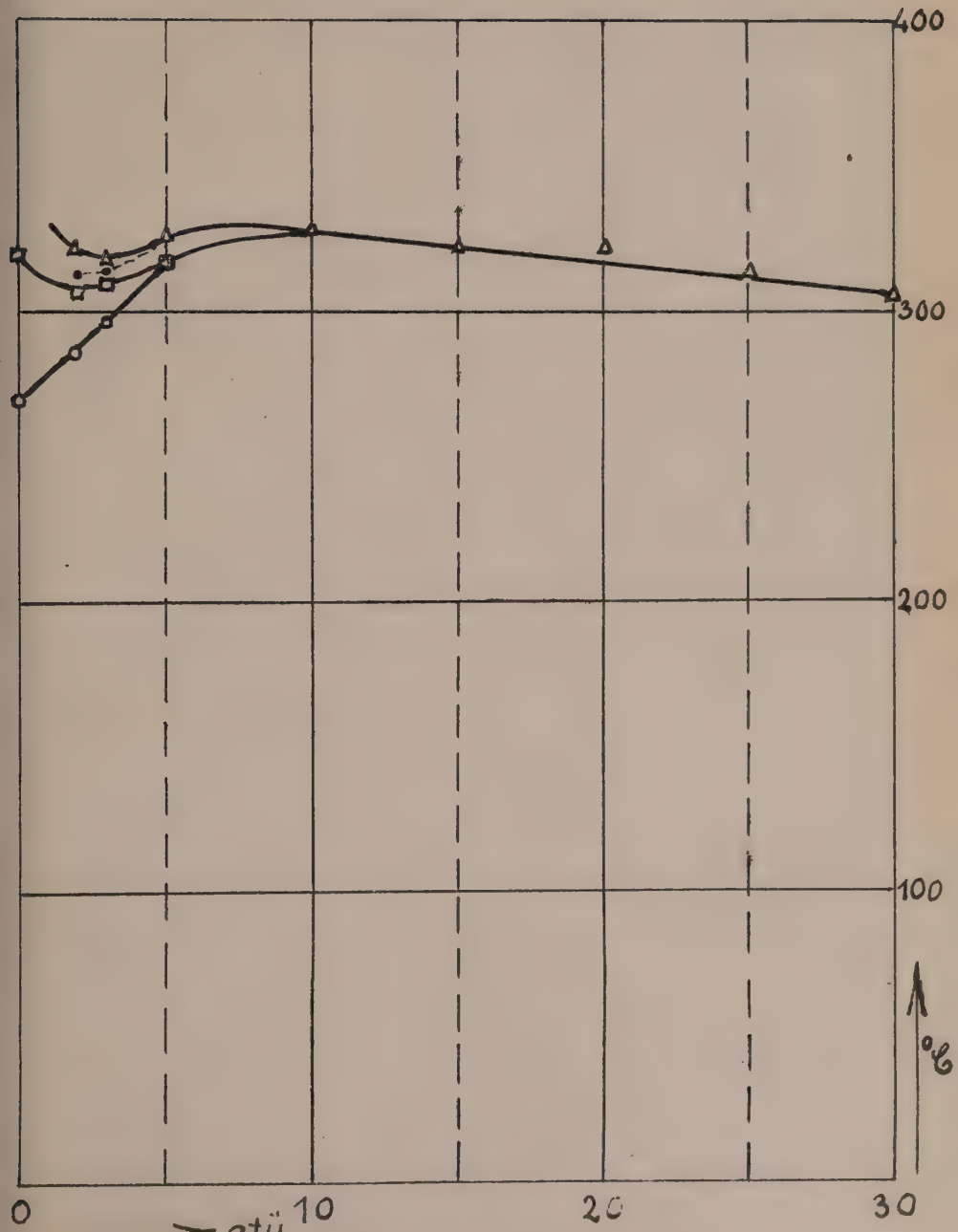
Heissdampfzylinderöl

Tafel: 16
Öl: M



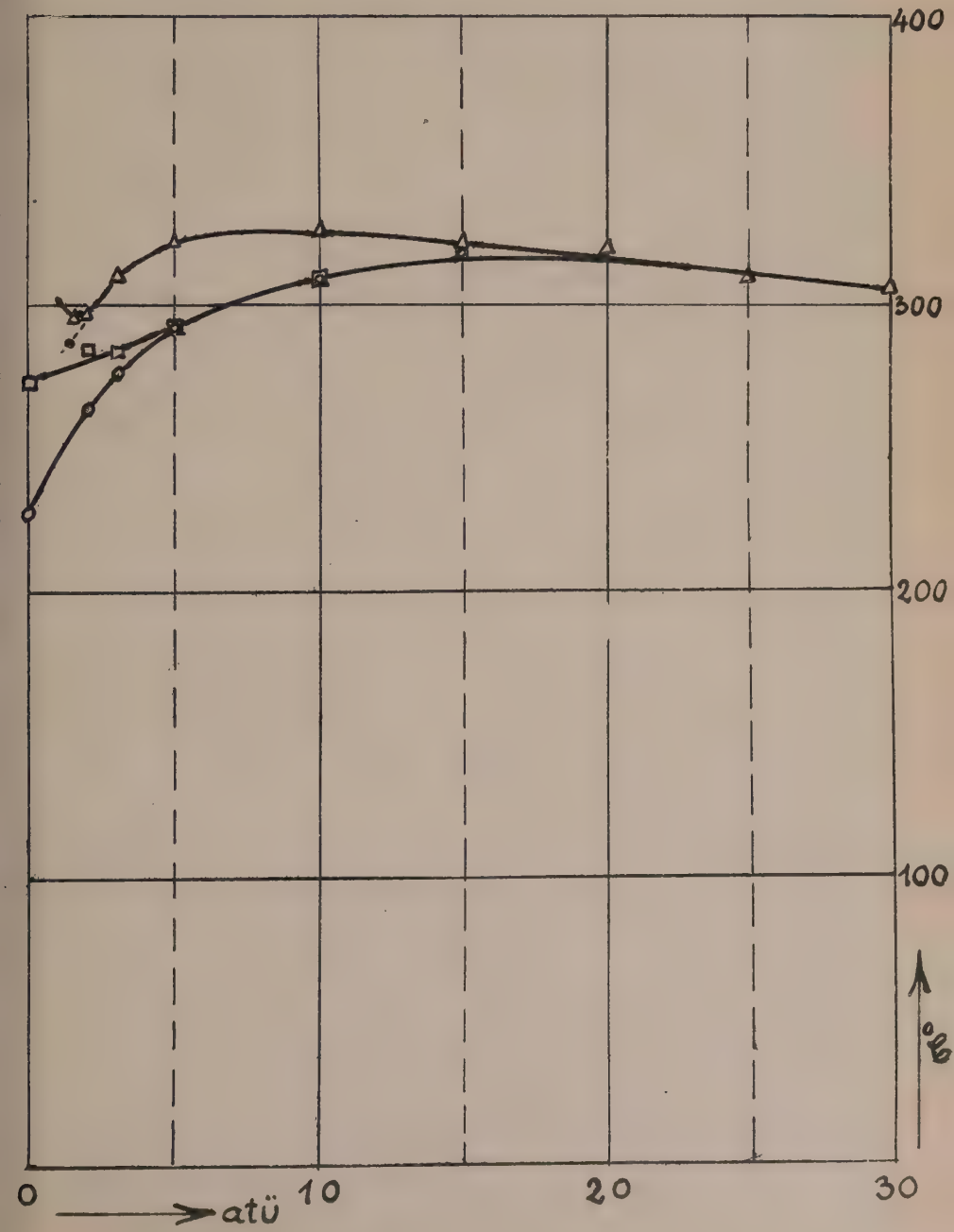
Heissdampfzylinderöl

Tafel: 17
Öl: N



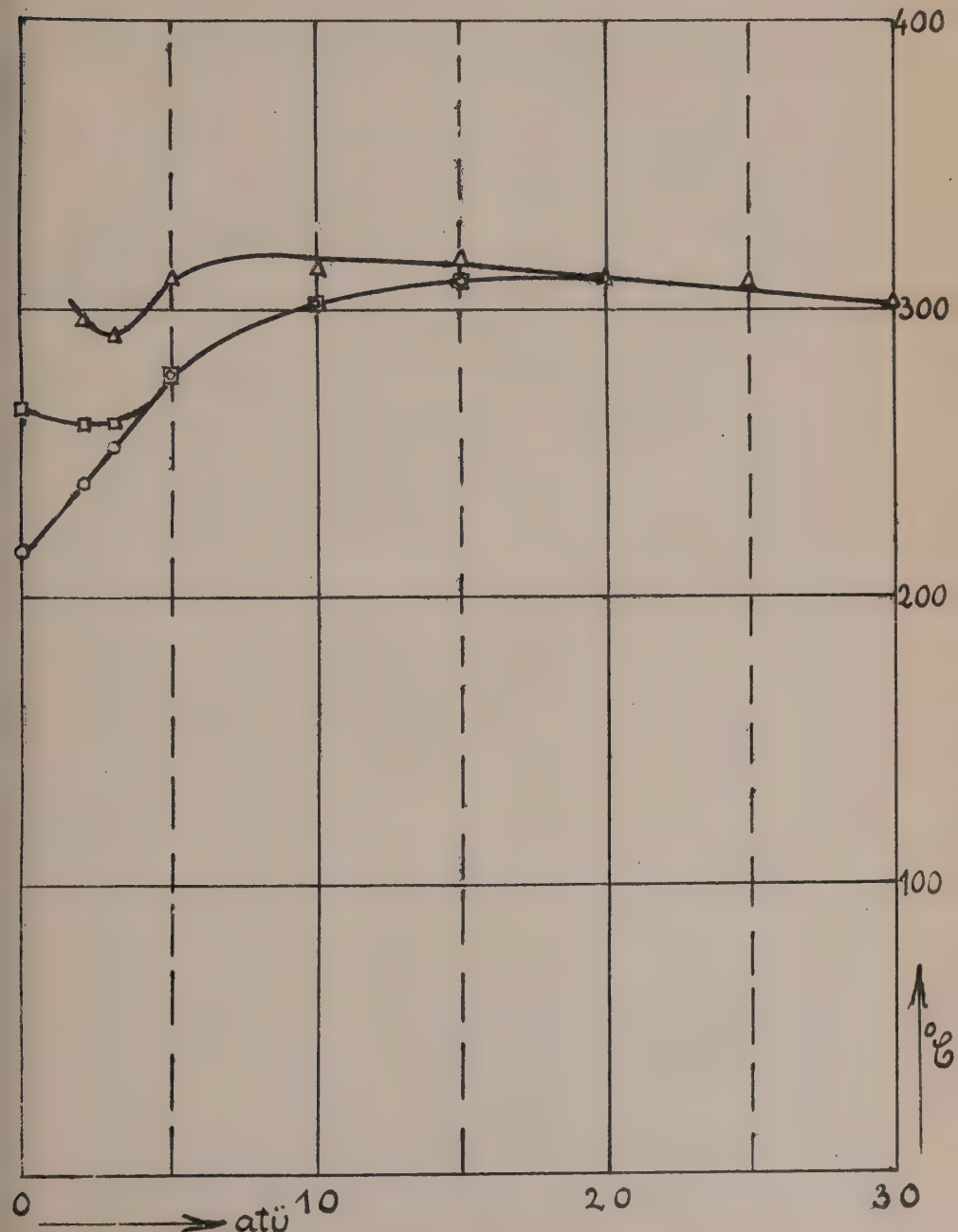
Gasmaschinen - und Dieselmotorenzylinderöl

Tafel: 18
Öl: 0



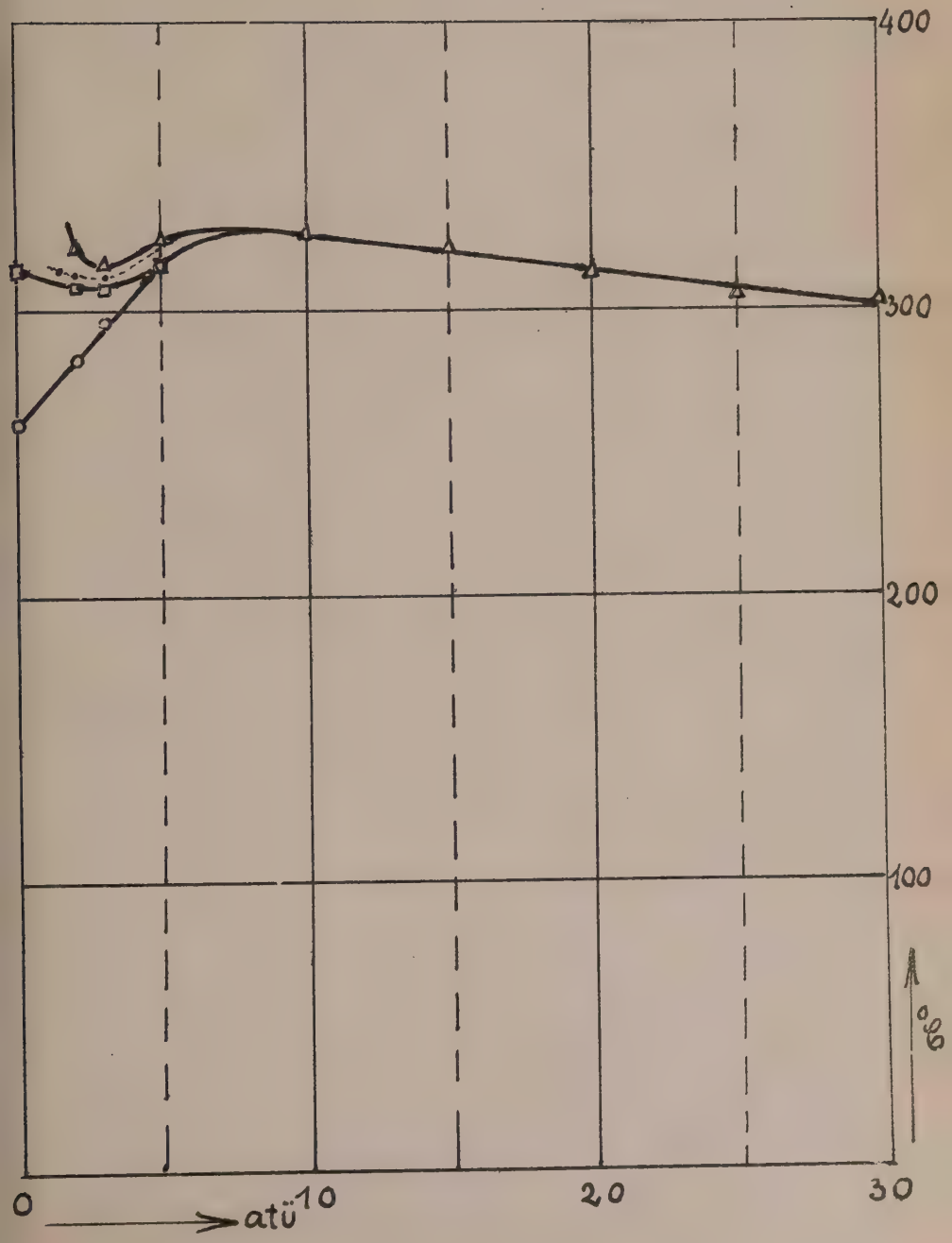
Gasmaschinenöl

Tafel: 19
Öl: P



Dieselmotorenzylinderöl

Tafel: 20
Öl: Q



Lebenslauf.

Ich, Hermann Hassenbach, bin am 24. Oktober 1887 zu Biebrich a. Rh. geboren, bestand 1906 das Abiturientenexamen an der Oberrealschule zu Wiesbaden, praktizierte auf der Rheinhütte, Schierstein, und der Weserwerft in Bremen und legte 1914 die Diplom-Hauptprüfung in Danzig-Langfuhr ab.

Das Einjährigenjahr und die Kriegszeit verbrachte ich bei der Kriegsmarine, wo ich zum Marine-Ingenieur d. R. befördert wurde.

Nach dem Kriege war ich zunächst Assistent und Konstruktionsingenieur an der Technischen Hochschule Danzig, dann Berechnungsingenieur und Konstrukteur für Dampfturbinen in Hamburg.

Nach kurzer Lehrtätigkeit in Strelitz war ich $2\frac{1}{2}$ Jahre, zuletzt als Oberingenieur, im Bergbau und habe seit Anfang 1923 die Leitung der Wärme-Wirtschaftlichen Abteilung und des Laboratoriums beim Schlesischen Verein zur Überwachung von Dampfkesseln in Breslau.

Eidesstattliche Erklärung

Hierdurch erkläre ich an Eides Statt, daß ich die Dissertation:

„Die Beziehungen zwischen Flamm-, Brenn- und Zündpunkt bei Zylinderölen unter Druck bis 30 Atmosphären Überdruck"

selbst verfaßt, den dazu nötigen Apparat selbst konstruiert und die Versuche selbst ausgeführt habe.

Soweit Literatur herangezogen wurde, ist dieses in der Dissertation an den betreffenden Stellen angegeben worden.

Breslau, den 1. Juli 1929.

Dipl.-Ing. H. Hassenbach.